

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Бубліков Андрій Вікторович

УДК 681.5.013:622.232.72:004.942

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ВИДОБУВНИМИ
КОМБАЙНАМИ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ШНЕКА**

Спеціальність 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації та комп'ютерних систем Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Ткачов Віктор Васильович
Національний гірничий університет Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ),
завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерних систем.

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор (Prof., Dr.-Ing.)
Герхард Грулер
Ройтлінгенський університет техніки й економіки (Німеччина),
проректор з наукової роботи.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Кочура Євген Віталійович
Національний гірничий університет Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ),
завідувач кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій;

доктор технічних наук, професор
Положаєнко Сергій Анатолійович
Одеський національний політехнічний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри комп'ютеризованих систем управління.

Захист дисертації відбудеться «__» _____ 2010 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Національному гірничому університеті за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного гірничого університету за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий «__» _____ 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д08.080.07
кандидат технічних наук, доцент

О.О. Азюковський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Видобувний комбайн – основне устаткування комплексно-механізованого вибою, від якого значною мірою залежить ступінь використання устаткування всіх наступних технологічних циклів, економічні та виробничі показники шахтного підприємства. Видобувні комбайни призначені для руйнування вугільного масиву, транспортування та навантаження вугілля на забійний конвеєр.

Основні принципи автоматизації гірничих машин були сформульовані в першій половині 20-го століття із розрахунку максимального використання потужностей приводних двигунів. З того часу способам автоматизації режимів роботи машин гірничо-металургійного комплексу присвячено багато досліджень та публікацій, серед яких можна виділити роботи таких вчених, як М. І. Стаднік, В. О. Ульшин, Є. В. Кочура, Я. П. Гринберг та ін.

Теоретично обґрунтовані декілька способів автоматизації видобувних комбайнів, але на практиці використання здобув мінімальний варіант автоматизації, який передбачає підтримку споживаних електродвигунами приводів різання потужностей на заданому рівні за рахунок регулювання швидкості подачі при незмінній швидкості різання. Головним недоліком мінімального варіанту автоматизації є те, що в алгоритмі управління не враховується кількість електроенергії, що витрачається на видобуток вугілля. Для видобувних комбайнів на потужних шарах такий підхід виправданий тим, що в інтенсивних режимах роботи мають місце мінімальні питомі енерговитрати. Але на тонких шарах при збільшенні швидкості подачі комбайну заштибовка шнека настає до моменту максимального використання потужності електродвигуна приводу різання. Це призводить до того, що видобувні комбайни на тонких шарах при автоматичному управлінні працюють із заштибовкою шнека. При цьому збільшуються питомі енерговитрати через значний тиск вугілля на лопати при транспортуванні та навантаженні вугільної маси в об'ємно стислому стані. Погіршується сортність вугілля внаслідок додаткового здрібнювання шнеком, що негативно позначається на його собівартості.

Таким чином, **наукова задача** дисертаційної роботи полягає у створенні інтегральної моделі, яка описує процеси формування навантаження на шнеку та зусиль в приводі різання видобувного комбайну, розробці критерію заштибовки шнека і синтезі на його основі алгоритму автоматичного управління видобувним комбайном з позиції зниження питомих енерговитрат на видобуток вугілля. Задача є актуальною, оскільки її реалізація забезпечить підвищення енергетичної ефективності автоматичного управління видобувними комбайнами на тонких шарах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до тематичного плану Національного гірничого університету за темою НДР №0107U000379 «Енергозберігаюча система

електропостачання рухомих споживачів з індуктивною передачею енергії».

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи – зниження питомих енерговитрат видобувного комбайну шляхом створення і реалізації нового способу автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів для тонких шарів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- створити інтегральну імітаційну модель декількох фізичних процесів, сполучених у просторі та у часі при роботі видобувного комбайна: різання вугілля зубками шнека, транспортування і навантаження вугілля шнеком малого діаметру, формування механічних моментів в редукторі приводу різання та перетворення енергії в асинхронному електродвигуні приводу різання;

- на основі створеної інтегральної моделі фізичних процесів в приводі різання виконати аналіз режимів роботи видобувних комбайнів на тонких шарах з погляду зниження їх питомих енерговитрат;

- розробити чисельні критерії заштибовки шнека та поломки зубка;

- встановити закономірності зміни у часі критеріїв заштибовки шнека та поломки зубка і за допомогою їх аналізу сформулювати умови настання заштибовки шнека та поломки зубка для системи автоматичного управління;

- на основі критерію заштибовки шнека розробити алгоритм автоматичного управління видобувним комбайном з позиції зниження питомих енерговитрат на видобуток вугілля;

- провести перевірку адекватності імітаційної моделі системи автоматичного управління видобувним комбайном до реальної системи і оцінити ефективність запропонованого способу автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів для тонких шарів.

Об'єкт досліджень – процес руйнування вугільного масиву, транспортування і навантаження вугілля шнеками видобувних комбайнів для тонких шарів.

Предмет досліджень – система автоматичного управління режимами роботи видобувних комбайнів.

Методи дослідження. При створенні інтегральної імітаційної моделі фізичних процесів в приводі різання видобувного комбайна використовувалися методи теорій навантаження вугілля виконавчими органами видобувних комбайнів, різання вугілля, випадкових процесів та електромеханічного перетворювача. При розробці чисельних критеріїв заштибовки шнека та поломки зубка використовувалися методи теорій вірогідності і математичної статистики. При перевірці адекватності імітаційної моделі системи автоматичного управління видобувним комбайном до реальної системи використовувалися методи аналізу випадкових даних і теорії регресії.

Наукові положення, що виносяться на захист.

1. Ковзне середнє відношення потужностей, заміряних із зсувом у часі, змінюється випадковим чином у вузькому діапазоні значень при нормальній роботі шнека і виходить із даного діапазону при настанні заштибовки, що

дозволяє контролювати об'єм циркулюючого вугілля в робочому просторі шнека і зменшити за рахунок цього питомі енерговитрати.

2. Збільшення приросту об'єму циркулюючого вугілля за оборот шнека призводить до зменшення за нелінійним законом відносного відхилення від середнього значення відношення потужностей, заміряних із зсувом у часі, що дозволяє визначити максимально припустимий крок збільшення швидкості подачі при пошуку її критичного значення з заштибовки шнека.

Наукові результати і їхня новизна.

1. Вперше проведено імітаційне моделювання декількох фізичних процесів, сполучених у просторі і у часі при роботі видобувного комбайну в режимі заштибовки шнека, яке дозволило отримати для даного режиму закономірності зміни у часі потужності, споживаної електродвигуном приводу різання. До цього моменту задача вдосконалення алгоритму управління комбайном за допомогою моделювання вирішувалась тільки для режиму нормального навантаження вугілля шнеком.

2. Робота видобувних комбайнів на тонких пологих шарах з мінімальними питомими енерговитратами можлива тільки в одному режимі – на грані заштибовки без циркулюючого вугілля в робочому просторі шнека. Критична швидкість подачі з заштибовки шнека не залежить від гірничо-геологічних властивостей шару, але чуттєва до змін конструктивних параметрів комбайну. Ці висновки дозволили визначити принцип побудови системи автоматичного управління комбайном з позиції зниження його питомих енерговитрат.

3. Руйнування вугілля шнеком з двома лопатами за допомогою одного зубка в лінії різання із використанням другого зубка для страхування дозволяє збільшити товщину стружки вугілля та зменшити питомі енерговитрати комбайна на 18,6%. Мінімальний коефіцієнт варіації конструктивної складової моменту опору на шнеку спостерігається при розміщенні зубків, що руйнують вугілля, та зубків, що страхують, на обох лопатах з чергуванням через один.

4. На початку заштибовки шнека на другій та четвертій чвертях періоду обороту шнека мають місце підвищені значення потужності, споживаної електродвигуном приводу різання. На основі даної закономірності за критерій заштибовки шнека запропоноване ковзне середнє відношення значень потужності, заміряних із зсувом у часі.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропонований алгоритм статистичної обробки потужності, споживаної електродвигуном приводу різання, що дозволяє визначати поломку зубка, може бути використаний при розробці засобів діагностування стану зубків в процесі роботи видобувного комбайну.

2. Розроблена методика визначення заштибовки шнека непрямим шляхом на основі статистичного аналізу потужності, споживаної електродвигуном приводу різання, рекомендована до впровадження в інституті Дондівровуглемаш (м. Донецьк) при проектуванні систем автоматичного управління видобувними комбайнами нового покоління на тонких пологих

шарах (№ реєстрації довідки про впровадження 01-524 від 24.12.2009 р.).

3. Розроблений алгоритм статистичної обробки потужності, споживаної електродвигуном приводу різання, що дозволяє визначати момент видалення циркулюючого вугілля із робочого простору виконавчого органу, рекомендований до впровадження в інституті Дондівровуглемаш при проектуванні систем автоматичного управління видобувними комбайнами.

4. Запропонований алгоритм розрахунку заданого значення швидкості подачі, що дозволяє зменшити питомі енерговитрати на видобуток вугілля за рахунок запобігання заштибовки шнека, рекомендований до впровадження в інституті Дондівровуглемаш при розробці програмного забезпечення для систем автоматичного управління видобувними комбайнами нового покоління на тонких пологих шарах.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати роботи отримані автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень доповідалися, обговорювалися і дістали схвалення на кафедрі «Автоматизації і комп'ютерних систем» (АКС) Національного гірничого університету (витяг з протоколу № 5 засідання кафедри АКС від 19.11.2009 р.); на регіональному науковому семінарі Придніпровського наукового центру НАН України «Сучасні проблеми управління і моделювання складних систем» (витяг з протоколу № 9 засідання наукового семінару від 12.03.2010 р.).

Робота пройшла апробацію на наступних конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані системи управління в гірничо-металургійному комплексі» (м. Кривий Ріг, Криворізький технічний університет, квітень 2005 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані системи управління в гірничо-металургійному комплексі» (м. Кривий Ріг, Криворізький технічний університет, квітень 2007 р.); VI Міжнародна науково-технічна конференція «Ефективність і якість електропостачання промислових підприємств» (м. Маріуполь, Приазовський державний технічний університет, травень 2008 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення» (м. Севастополь, Севастопольський національний технічний університет, вересень 2008 р.).

Публікації. За результатами наукових досліджень опубліковані 10 друкованих робіт, зокрема 6 у фахових виданнях ВАК України і 4 в тезах доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів і висновків, викладених на 216 сторінках машинописного тексту, ілюстрованого 70 рисунками. Робота містить 9 таблиць, список використаної літератури з 103 найменувань і 3 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, наведений зв'язок роботи з науковими програмами, планами,

темами. Викладені новизна, практична цінність і відомості про апробацію одержаних результатів досліджень. Зазначений особистий внесок здобувача.

У першому розділі виконаний аналіз видобувних комбайнів для тонких пологих шарів як об'єктів автоматизації. В ході цього аналізу розглянуті особливості конструктивного виконання елементів системи автоматичного управління режимами роботи комбайна і описана послідовність технологічних операцій при видобутку вугілля за допомогою механізованого очисного комплексу. Дана характеристика навантаження на виконавчому органі видобувного комбайну при його взаємодії із вугільним масивом, як основного збурення при стабілізації потужності електродвигуна приводу різання.

В результаті огляду літературних джерел наведені відомі способи автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів. Зазначено, що для сучасних видобувних комбайнів через електродвигун приводу різання, що є нерегульованим, актуальними є лише два способи – стабілізація швидкості подачі або стабілізація потужності, споживаної електродвигуном приводу різання. Аналіз цих способів дозволив зробити висновок, що жоден з них не забезпечує роботу видобувних комбайнів на тонких шарах із мінімальними питомими енерговитратами, оскільки не відбувається контроль за заштибовкою шнека системою автоматичного управління.

Оскільки у робочому просторі шнека неможливо встановити датчик заштибовки через агресивне зовнішнє середовище, запропоновано визначати заштибовку шнека при роботі комбайна в автоматичному режимі непрямим шляхом на основі статистичного аналізу потужності, споживаної електродвигуном приводу різання. В процесі обґрунтування рішення цього питання у розділі сформульовані мета і завдання дослідження.

У другому розділі розроблена імітаційна модель фізичних процесів, що мають місце в приводі різання при роботі видобувного комбайна. Імітаційна модель «очисний вибій – шнек малого діаметру – привод різання» отримана в результаті сполучення у просторі і у часі процесів різання вугілля зубками виконавчого органу, транспортування і навантаження відбитого вугілля шнеком малого діаметру, формування механічних моментів в редукторі привода різання та перетворення енергії в асинхронному електродвигуні приводу різання.

З ціллю імітування випадкових коливань навантаження на виконавчому органі з низькою частотою при різанні вугілля зубками за допомогою генератора випадкових чисел задається зміна у часі опірності вугілля різанню згідно із автокореляційною функцією:

$$R_A(\tau) = D_A \cdot k_A \cdot e^{-\alpha_1(V_n)\tau} + D_A \cdot (1 - k_A) \cdot e^{-\alpha_2 \tau}, \quad (1)$$

де D_A – дисперсія опірності вугілля різанню; α_1, α_2 – коефіцієнти згасання автокореляційної функції при зміні опірності вугілля різанню відповідно у напрямку руху видобувного комбайна та у напрямку швидкості різання; k_A – коефіцієнт відношення дисперсій низькочастотних складових опірності вугілля різанню; V_n – швидкість подачі видобувного комбайну.

Значення параметрів автокореляційної функції (1) отримані в процесі статистичної обробки результатів замірів потужності електродвигуна привода різання в ході випробування комбайна УКД300 в реальних умовах на шахті «Павлоградська». Встановлено, що випадкові коливання опірності вугілля різанню підкорені нормальному закону розподілення з функцією щільності вірогідності:

$$p_A(A_i) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot D_A}} \cdot e^{-\frac{(A_i - \bar{A})^2}{2 \cdot D_A}},$$

де \bar{A} – середнє значення опірності вугілля різанню.

Миттєві значення опірності вугілля різанню A_i використовуються для розрахунку миттєвих значень сил різання на зубках шнека (рис.1). При цьому застосовується методика розрахунку сил різання на зубках виконавчого органу, за базу якої прийнято експериментальне дослідження енергоємності процесу різання вугілля еталонним зубком в еталонному режимі. Вплив параметрів, які відрізняються від еталонних, враховується за допомогою відповідних поправочних коефіцієнтів.

$$Z_{o,i} = 10 \cdot A_i \cdot \frac{0,35 \cdot b_{p,i} + 0,3}{b_{p,i} + B \cdot \sqrt{h_{mek,i}}} \cdot h_{mek,i} \cdot t_{p,i} \cdot K_{om,i} \cdot K_{z,i} \cdot K_\gamma \cdot K_\phi \cdot K_{np,i} \cdot \frac{1}{\cos(\phi)}, \quad (2)$$

де $Z_{o,i}$ – сила різання на i -ом зубці; $h_{mek,i}$, $t_{p,i}$ – відповідно товщина і ширина стружки вугілля, що знімається i -им зубком; $b_{p,i}$ – розрахункова ширина ріжучої частини зубка; B – крихкість вугілля; $K_{om,i}$ – коефіцієнт віджимання вугілля в зоні i -го зубка; $K_{z,i}$ – коефіцієнт оголення вибою для i -го зубка; K_γ – коефіцієнт впливу кінематичного кута різання на питому енергію різання; K_ϕ – коефіцієнт форми передньої грані зубка; $K_{np,i}$ – коефіцієнт впливу поворотного зубка на силу різання; ϕ – кут нахилу зубка до осі подачі комбайна.

Миттєві значення конструктивної складової моменту опору на шнеку розраховуються за формулою:

$$M_K = 0,5 \cdot D \cdot \sum_{i=1}^{n_p} (Z_{o,i} + f \cdot (Y_{ok,i} - Y_{o,i})),$$

де D – діаметр шнека; $Y_{o,i}$, $Y_{ok,i}$ – сила подачі на зубці відповідно без врахування і з врахуванням зміни заднього кута зубка; f – коефіцієнт опору різанню; n_p – кількість зубків, що одночасно знаходяться в контактi з вугільним масивом.

З ціллю імітування випадкових коливань навантаження на виконавчому органі з високою частотою при різанні вугілля зубками за допомогою генератора випадкових чисел задається зміна у часі моменту опору на шнеку згідно з автокореляційною функцією:

$$R_g(\tau) = D_{g,1}(\bar{Z}_o) \cdot e^{-\alpha_3(\bar{Z}_o)\tau} + D_{g,2}(\bar{Z}_o) \cdot e^{-\alpha_4(\bar{Z}_o)\tau} \cdot \cos(\beta(\bar{Z}_o)\tau), \quad (3)$$

де $D_{g,1}$, $D_{g,2}$ – дисперсії високочастотної складової моменту опору на шнеку; α_3, α_4 – коефіцієнти згасання автокореляційної функції при зміні моменту опору

на шнеку; β – переважна частота коливань моменту опору на шнеку при різанні вугілля.

Параметри автокореляційної функції (3) змінюються в функції середньої сили різання на зубці \bar{Z}_o , яка розраховується за формулою (2) при середніх значеннях товщини і ширини стружки вугілля, що знімається зубком.

Випадкові коливання моменту опору на шнеку з високою частотою при різанні вугілля підкорені гамма закону розподілення з функцією щільності вірогідності:

$$p_{\epsilon}(M_{\epsilon,i}) = \frac{\lambda (\bar{Z}_o)^{\eta} (\bar{Z}_o)}{\int_0^{\infty} t^{\eta} (\bar{Z}_o)^{-1} \cdot e^{-t} dt} \cdot M_{\epsilon,i}^{\eta} (\bar{Z}_o)^{-1} \cdot e^{-\lambda (\bar{Z}_o) \cdot M_{\epsilon,i}}$$

де M_{ϵ} – високочастотна складова моменту опору на шнеку при різанні вугілля; λ, η – відповідно параметри масштабу і форми гамма розподілення, які змінюються в функції середньої сили різання на зубці \bar{Z}_o .

Для імітації зміни у часі моменту опору на шнеку при транспортуванні і навантаженні вугілля шнеком малого діаметру використані математичні рівняння, що дозволяють розраховувати середній нормальний тиск вугілля на поверхні шнека:

$$p_c(\varphi) = \begin{cases} \frac{f_1 \cdot \gamma_{\partial 1}}{r} \cdot (e^{r \cdot \gamma(\varphi)} - 1) \cdot \cos(\alpha_{uu}), & \text{якщо } h_{\epsilon}(\varphi) < h_l; \\ \frac{f_{e2} \cdot \gamma_{\partial}}{r_{\epsilon}(\varphi)} \cdot (e^{r_{\epsilon}(\varphi) \cdot t_l} - 1) \cdot \cos(\alpha_{uu}), & \text{якщо } h_{\epsilon}(\varphi) = h_l \text{ та } V_{\epsilon}(\varphi) < V_p(\varphi); \\ \frac{f_e \cdot \gamma_{\partial}}{r_{\epsilon}^*(\varphi)} \cdot (e^{r_{\epsilon}^*(\varphi) \cdot t_l} - 1) \cdot \cos(\alpha_{uu}), & \text{якщо } V_{\epsilon}(\varphi) \geq V_p(\varphi) \text{ та } (\varphi \leq \varphi_{\text{від}} \text{ або } \varphi \geq \varphi_{\text{зак}}); \\ p_{c4.1 \max} \cdot e^{\chi(\varphi) \cdot \cos(2 \cdot (\varphi - 1.5\pi)) - 1} + p_{c4.2 \max} \cdot e^{n_c \cdot \cos(\varphi - \pi - \varphi_{\pi 2}) - 1} + \sigma_n(\varphi) \cdot f_4^*, & \text{якщо } V_{\epsilon}(\varphi) \geq V_p(\varphi) \text{ та } \varphi_{\text{від}} < \varphi < \varphi_{\text{зак}}, \end{cases}$$

де f_1, f_{e2}, f_e, f_4^* – коефіцієнти опору переміщенню вугілля; $\gamma_{\partial 1}, \gamma_{\partial}, n_c$ – коефіцієнти, що характеризують фізичний стан вугілля; h_{ϵ}, y – відповідно висота та довжина вугільної маси, що транспортується шнеком; $r, r_{\epsilon}, r_{\epsilon}^*, \chi$ – коефіцієнти, що визначають характер формування тиску вугілля на поверхні шнека; $p_{c4.1 \max}$ – максимальний середній тиск вугілля на поверхню лопати в зоні розвантажувального торця; $\sigma_n, p_{c4.2 \max}$ – середній і максимальний середній тиски вугілля відповідно на трубу та поверхню лопати шнека в зоні, що прилягає до розвантажувального торця; α_{uu} – кут падіння шару; V_{ϵ} – об'єм вугілля, що зруйноване шнеком і яке потрапило у його робочий простір; V_p – робочий об'єм шнека; $\varphi_{\text{від}}, \varphi_{\text{зак}}$ – кути відкриття і закриття вікна вивантаження вугілля.

Миттєві значення моменту опору на шнеку при транспортуванні і навантаженні вугілля шнеком малого діаметру розраховуються за формулою:

$$M_n(\varphi) = 250 \cdot (d + h_l) \cdot p_c(\varphi) \cdot S(\varphi) \cdot [f \cdot \sin(Nx) + \cos(Nx)],$$

де S – площа поверхні вугільної маси, що стикається з поверхнею шнека; d – діаметр труби шнека; h_n – умовна висота лопати; Nx – кут між перпендикуляром до поверхні лопати і площиною поперечного перетину шнека.

Сумарний момент опору на шнеку є одним із параметрів відомих математичних рівнянь для розрахункової електромеханічної схеми з двома масами, за допомогою яких описується рух механічної частини приводу різання (рис.1).

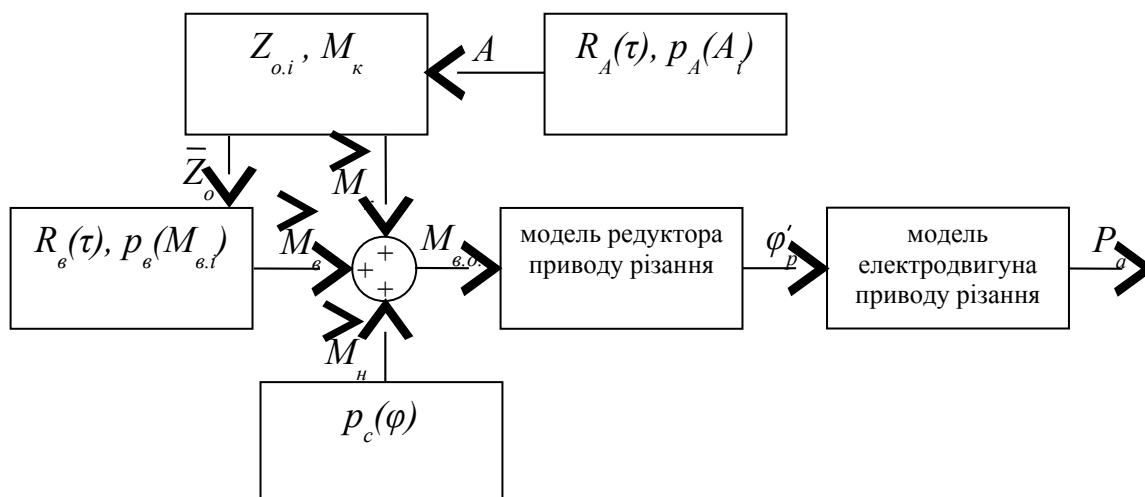


Рис.1. Структурна схема імітаційної моделі «очисний вибій – шнек малого діаметру – привод різання»

В результаті розв'язання рівнянь, що описують рух механічної частини приводу різання, знаходиться кутова швидкість обертання ротора електродвигуна приводу різання, яка є одним із параметрів математичних рівнянь електромеханічного перетворення енергії в асинхронному електродвигуні з коротко замкнутим ротором, записаних відносно нерухомого статора (рис.1). За допомогою розв'язання цих рівнянь знаходиться вихідна величина імітаційної моделі «очисний вибій – шнек малого діаметру – привод різання» – активна потужність, споживана електродвигуном приводу різання.

У **третьому розділі** розглянута задача аналізу за допомогою імітаційної моделі «очисний вибій – шнек малого діаметру – привод різання» режимів роботи видобувних комбайнів в умовах тонких шарів з погляду зниження їх питомих енерговитрат. Аналіз проведений на основі дослідження роботи системи автоматичного управління (САУ) видобувним комбайном на тонких шарах при реалізації режиму стабілізації потужності, споживаної електродвигуном приводу різання.

Згідно із режимом стабілізації потужності САУ видобувним комбайном збільшує швидкість подачі до моменту перевищення фактичної потужності її стійкого значення (точка Б на рис.2), навіть після виникнення заштибовки шнека (точка А на рис.2). Коли фактична потужність перевищує своє стійке значення, САУ видобувним комбайном починає знижувати швидкість подачі, доки тиск циркулюючого вугілля на поверхні шнека не компенсується запасом

потужності електродвигуна приводу різання при роботі комбайна на грані заштибовки шнека (точка А на рис.2). При подальшій роботі САУ видобувним комбайном стабілізує потужність, споживану електродвигуном приводу різання, між точками B_H і B_B на кривій 3 (рис.2).

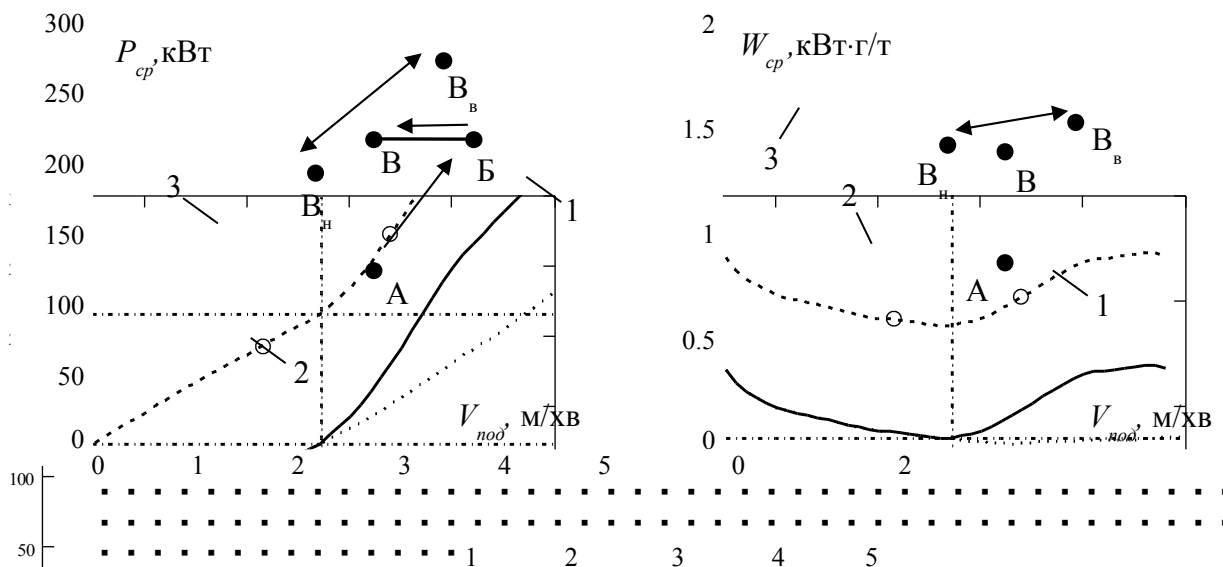


Рис.2. Робочі статичні характеристики видобувного комбайну УКД300: 1 – без заштибовки шнека; 2 – із заштибовкою шнека; 3 – при роботі комбайна з постійним середнім об'ємом циркулюючого вугілля

Таким чином, робота видобувного комбайна відбувається з максимальним використанням потужності електродвигуна приводу різання, але із завищеними питомими енерговитратами на видобуток вугілля, оскільки частина потужності витрачається на подолання сили тертя циркулюючого вугілля по поверхні шнека. Із аналізу роботи САУ комбайном зроблений висновок, що робота комбайна на тонких шарах з мінімальними питомими енерговитратами можлива тільки при одному режимі – коли шнек працює на грані заштибовки з максимальною навантажувальною продуктивністю без циркулюючого вугілля в робочому об'ємі (точка А на рис.2).

Встановлено, що при роботі видобувного комбайну критична за заштибовкою шнека швидкість подачі залишається незмінною, але при коливаннях навантаження на виконавчому органі відбувається відповідне коливання мінімального екстремуму залежності питомих енерговитрат від швидкості подачі (позиції А–В на рис.2). Тому традиційні методи пошуку мінімального екстремуму функції одної змінної є недіючими, оскільки значення мінімального екстремуму змінюється в процесі роботи комбайна випадковим чином в широкому діапазоні значень і спектрі частот.

Запропонований спосіб зменшення питомих енерговитрат видобувного комбайна за рахунок застосування схеми розміщення зубків на шнеку з одним ріжучим зубком в лінії різання. Другий зубок в лінії різання страхує ріжучий зубок і має зменшений на 40% конструктивний виліт для запобігання його

контакту з масивом вугілля і збільшення товщини стружки вугілля, що знімається ріжучим зубком. З ціллю забезпечення роботи видобувного комбайну в нормальному режимі після поломки зубка запропонований чисельний критерій поломки зубка, який представляє собою ковзне середнє відношення миттєвих значень потужності, заміряних із зсувом у часі, що дорівнює половині періоду обороту шнека:

$$k_{\text{пол.}i} = \sum_{x=i-T_{\text{уср}}}^i \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{x-0,5T_{\text{пер}}}}{P_x}, \text{ якщо } \left\lfloor \frac{x}{0,5 \cdot T_{\text{пер}}} \right\rfloor - (2 \cdot k + 1); \\ \frac{P_x}{P_{x-0,5T_{\text{пер}}}}, \text{ якщо } \left\lfloor \frac{x}{0,5 \cdot T_{\text{пер}}} \right\rfloor - (2 \cdot k) \end{array} \right. \cdot (T_{\text{уср}})^{-1},$$

де $T_{\text{уср}}$ – кількість миттєвих значень потужності, яка використовується для ковзного усереднення; $T_{\text{пер}}$ – кількість миттєвих значень потужності, заміряних за період обороту шнека; k – деяке ціле число; i – номер поточного миттєвого значення критерію поломки зубка; P_x – миттєве значення потужності, споживаної електродвигуном приводу різання, при усередненні; $P_{x-0,5T_{\text{пер}}}$ – миттєве значення потужності, що зміщене у часі відносно значення потужності P_x на половину періоду обороту шнека.

Аналіз закономірностей зміни у часі критерію поломки зубка показав, що в нормальному режимі роботи шнека критерій змінюється випадковим чином навколо свого середнього значення в діапазоні шириною $\pm 5,1\%$ від середнього значення, а при настанні поломки зубка він виходить із цього діапазону зміни значень і починає змінюватись в іншому діапазоні.

У четвертому розділі вирішене завдання розробки чисельного критерію заштибовки шнека та синтезу на його основі алгоритму автоматичного управління видобувним комбайном для тонких шарів з позиції зниження питомих енерговитрат на видобуток вугілля.

В процесі аналізу закономірностей зміни у часі потужності електродвигуна приводу різання, що витрачається на транспортування та навантаження вугілля шнеком, зроблені наступні висновки. Якщо в момент початку заміру потужності кінцева частина лопати виходить із зони накопиченого вугілля у розвантажувального торця, то підвищені значення потужності при заштибовці шнека мають місце лише на другій та четвертій чвертях періоду обороту шнека. При навантаженні вугілля в нормальному режимі потужність суттєво не змінюється протягом періоду обороту шнека.

На основі цих спостережень за чисельний критерій заштибовки шнека запропоноване ковзне середнє відношення миттєвих значень потужності, споживаної електродвигуном приводу різання, заміряних із зсувом у часі, що дорівнює чверті періоду обороту шнека:

$$k_{зашт.i} = \sum_{x=i-T_{уср}}^i \begin{cases} \frac{P_{x-0,25 \cdot T_{пер}}}{P_x}, \text{ якщо } \left\lfloor \frac{x}{0,25 \cdot T_{пер}} \right\rfloor - (2 \cdot k + 1); \\ \frac{P_x}{P_{x-0,25 \cdot T_{пер}}}, \text{ якщо } \left\lfloor \frac{x}{0,25 \cdot T_{пер}} \right\rfloor - (2 \cdot k) \end{cases} \cdot (T_{уср})^{-1}.$$

З ціллю формулювання умови настання заштибовки шнека для автоматичної системи за допомогою імітаційної моделі «очисний вибій – шнек малого діаметру – привод різання» отримані закономірності зміни у часі критерію заштибовки шнека при нормальній роботі шнека та при його заштибовці.

Аналіз закономірностей зміни у часі критерію заштибовки шнека при нормальній роботі шнека (крива 1 на рис.3) показав, що при відсутності заштибовки шнека критерій змінюється випадковим чином навколо свого середнього значення в діапазоні шириною $\pm 8,2\%$ від середнього значення. При настанні заштибовки шнека (40-а с на рис.3) критерій виходить із діапазону зміни значень, що має місце при нормальній роботі шнека, але з часом при збільшенні або зменшенні об'єму циркулюючого вугілля повертається в нього.

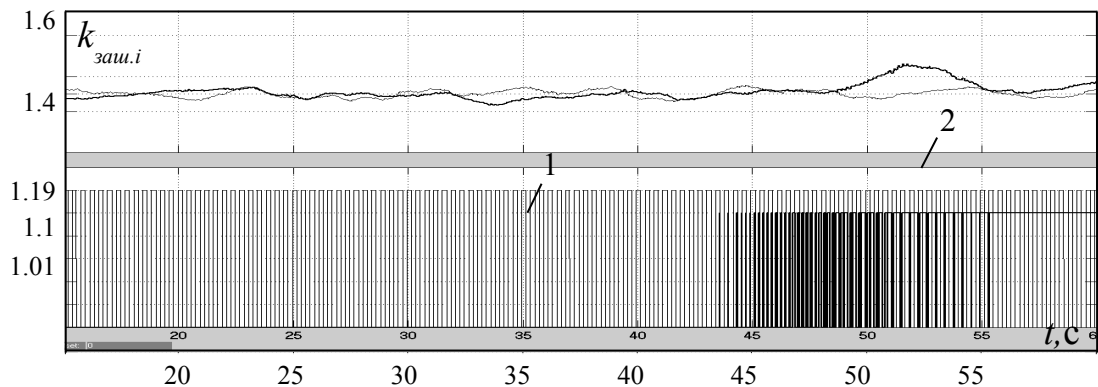


Рис.3. Зміна у часі критерію заштибовки шнека

Аналіз закономірностей зміни у часі критерію заштибовки шнека при нормальній роботі шнека (крива 1 на рис.3) показав, що при відсутності заштибовки шнека критерій змінюється випадковим чином навколо свого середнього значення в діапазоні шириною $\pm 8,2\%$ від середнього значення. При настанні заштибовки шнека (40-а с на рис.3) критерій виходить із діапазону зміни значень, що має місце при нормальній роботі шнека, але з часом при збільшенні або зменшенні об'єму циркулюючого вугілля повертається в нього.

Досліджений вплив на закономірності зміни у часі критерію заштибовки шнека зустрічі шнека з карбонатними включеннями при роботі комбайна на шарі складної побудови. При контакті зубців з включеннями відбувається відхилення критерію заштибовки шнека від середнього значення, що призводить до помилкового виконання умови настання заштибовки шнека. Дослідження зміни у часі критерію заштибовки шнека при різанні включень породи зубками показали, що для уникнення помилкового виконання умови

настання заштибовки шнека необхідно ширину контрольованого діапазону зміни значень критерію збільшити до $\pm 10\%$ від його середнього значення.

З'ясовано, що відносне відхилення критерію від середнього значення при заштибовці шнека залежить від положення шнека у просторі на момент початку заміру потужності. Найбільш сприятливим положенням шнеку для початку заміру потужності є положення, коли кінцева частина лопати виходить із зони накопиченого вугілля у розвантажувального торця шнека. Встановлено, що існують положення шнека у просторі, при початку заміру потужності на яких критерій не вийде із контрольованого діапазону зміни значень при настанні заштибовки шнека. Тому запропоновано контролювати не одне значення критерію заштибовки шнека, а декілька значень, для кожного із яких момент початку заміру потужності зміщений у часі відносно попереднього на 8 мс.

З ціллю дослідження зв'язку між відхиленням критерію від середнього значення при заштибовці шнека і режимом роботи комбайна за допомогою імітаційної моделі «очисний вибій – шнек малого діаметру – привод різання» отримана залежність відхилення критерію від приросту об'єму циркулюючого вугілля за оборот шнека.

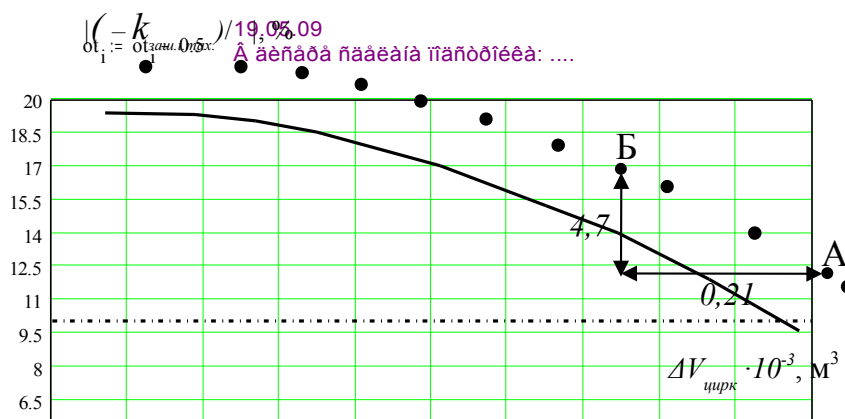


Рис.4. Залежність між відносним відхиленням критерію від середнього значення при заштибовці шнека і приростом об'єму циркулюючого вугілля за оборот шнека

З аналізу залежності між відносним відхиленням критерію від середнього значення при заштибовці шнека і приростом об'єму циркулюючого вугілля за оборот шнека зроблений висновок, що для виходу критерію із контрольованого діапазону зміни значень при настанні заштибовки шнека середній приріст об'єму циркулюючого вугілля за оборот шнеку не повинен перевищувати рівень 3,1% від робочого об'єму шнека (точка А на рис.4). Але з урахуванням невизначеності приросту об'єму циркулюючого вугілля і невідповідності фактичної швидкості подачі, що усереднена за час статистичного аналізу потужності, її заданому значенню, середній приріст об'єму циркулюючого вугілля за оборот шнеку не повинен перевищувати рівень 2,2% від робочого об'єму шнека (точка Б на рис.4).

З урахуванням закономірностей зміни у часі критерію заштибовки шнека на його основі розроблений алгоритм автоматичного управління видобувним комбайном з позиції зниження питомих енерговитрат на видобуток вугілля. Можна виділити два режими роботи системи автоматичного управління (САУ) видобувним комбайном за умов зниження питомих енерговитрат – режим пошуку критичної швидкості подачі з заштибовки шнека і режим її відстеження. В режимі пошуку критичної швидкості подачі з заштибовки САУ дискретно збільшує швидкість подачі з кроком за рівнем, що визначається максимальним припустимим значенням приросту об'єму циркулюючого вугілля за оборот шнека, і кроком у часі, який обумовлюється необхідним часом аналізу критерію заштибовки шнека. В режимі відстеження критичної швидкості подачі з заштибовки САУ періодично переводить комбайн в режим роботи із заштибовкою шнека з незначним об'ємом циркулюючого вугілля і перевіряє встановлене критичне значення швидкості подачі з заштибовки для забезпечення роботи комбайна з максимальною навантажувальною продуктивністю шнека.

У п'ятому розділі вирішене завдання перевірки адекватності імітаційної моделі САУ видобувним комбайном до реальної системи, технічної реалізації САУ та оцінки ефективності запропонованого способу автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів для тонких шарів.

Складовою частиною розробленої САУ комбайном є регулятор режимів роботи, який зараз встановлений на видобувних комбайнах. Він застосовується для реалізації режиму стабілізації швидкості подачі і захисту електродвигуна приводу різання від перекидання. Але задане значення швидкості подачі для регулятора режимів роботи встановлює не машиніст видобувного комбайну, як це було раніше, а обчислює САУ комбайном за запропонованим в дисертаційній роботі алгоритмом на основі статистичного аналізу потужності, споживаної електродвигуном приводу різання. Згідно із запропонованим в дисертаційній роботі алгоритмом розроблена програма для розрахунку заданого значення швидкості подачі на мові програмування C++, яку у випадку технічної реалізації необхідно додати до програмного забезпечення САУ комбайном. Таким чином, для технічної реалізації розробленої САУ видобувним комбайном не треба додаткових засобів автоматизації, але додаються вимоги до датчиків потужності і швидкості подачі щодо підтримання малої дискретності заміру відповідно 8 і 100 мс.

Проведене імітаційне моделювання роботи САУ видобувним комбайном, яке показало, що при переході до запропонованого в дисертаційній роботі способу автоматизації режимів роботи комбайну об'єм циркулюючого вугілля в робочому просторі шнека зменшується майже втричі, за рахунок чого питомі енерговитрати на видобуток вугілля знижуються на 40-50%. Проведена перевірка на адекватність імітаційної моделі САУ видобувним комбайном до реальної системи на основі аналізу збіжності експериментальної вибірки потужності, що отримана при випробуванні комбайну УКД300 в умовах шахти

«Павлоградська», та імітованої вибірки потужності, що отримана за допомогою імітаційної моделі САУ комбайном. Аналіз збіжності вибірок потужності проведений за допомогою критеріїв інверсій, Фішера, Пірсона, Ст'юдента, які підтвердили адекватність імітаційної моделі САУ видобувним комбайном до реальної системи.

Виконаний розрахунок основних показників оцінки економічного ефекту від впровадження наукових розробок в дисертаційній роботі, згідно з якими проект впровадження є прибутковим, з високим рівнем дохідності і окупається за один рік і десять місяців.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науковою роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача створення інтегральної моделі, яка описує процеси формування навантаження на шнеку та зусиль в приводі різання видобувного комбайну, розробки критерію заштибовки шнека і синтезу на його основі алгоритму автоматичного управління комбайном з позиції зниження питомих енерговитрат на видобуток вугілля.

За результатами досліджень сформульовані наступні висновки:

1. За допомогою аналізу існуючих способів автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів встановлено, що жоден з них не забезпечує роботу комбайнів на тонких пологих шарах з мінімальними питомими енерговитратами, оскільки в алгоритмах автоматичного керування не відстежується заштибовка шнека.

2. Розроблена інтегральна імітаційна модель «очисний вибій – шнек малого діаметру – привод різання» з урахуванням конструктивних особливостей видобувних комбайнів для тонких шарів. В цій моделі розглядаються декілька фізичних процесів, сполучених у просторі і часі: процес різання вугілля зубками виконавчого органу, процес транспортування та навантаження вугілля шнеком малого діаметру, процес формування механічних моментів в редукторі проводу різання і процес перетворення енергії в асинхронному електродвигуні приводу різання.

3. Показано, що робота видобувних комбайнів на тонких пологих шарах з мінімальними питомими енерговитратами можлива тільки в одному режимі – на грані заштибовки шнека без циркулюючого вугілля в робочому просторі виконавчого органу. Встановлено, що критична швидкість подачі з заштибовки шнека не залежить від гірничо-геологічних властивостей шару, але збільшується за нелінійним законом при зменшенні висоти борту забійного конвеєру та збільшенні діаметру шнека.

4. Запропонований спосіб зменшення питомих енерговитрат видобувного комбайна за рахунок застосування схеми розміщення зубків на шнеку з одним ріжучим зубком в лінії різання. Другий зубок в лінії різання страхує ріжучий зубок і має зменшений на 40% конструктивний виліт для запобігання його

контакту з масивом вугілля і збільшення товщини стружки вугілля, що знімається ріжучим зубком.

5. Запропоновано визначати поломку зубка і заштибовку шнека за ковзним середнім відношенням миттєвих значень потужності, споживаної електродвигуном приводу різання, заміряних із зсувом у часі, що дорівнює, відповідно, половині та чверті періоду обороту шнека.

6. Сформульовані умови відсутності поломки зубка та заштибовки шнека для автоматичної системи, що полягають в контролюванні знаходження критеріїв поломки зубка та заштибовки шнека в діапазоні зміни значень шириною, відповідно, $\pm 5,1\%$ та $\pm 8,2\%$ від середнього значення критеріїв.

7. Встановлено, що величина відхилення критерію від середнього значення при поломці зубка або заштибовці шнека залежить від положення шнека у просторі в момент початку заміру потужності. Тому запропоновано контролювати не одне значення критерію, а декілька значень, для кожного із яких момент початку заміру потужності зміщений у часі відносно попереднього на 8 мс.

8. Встановлено, що різання мінеральних включень зубками шнека призводить до відхилень критеріїв від середніх значень при нормальній роботі шнека. Тому запропоновані додаткові умови відсутності поломки зубка та заштибовки шнека для шарів складної побудови, що полягають в контролюванні тривалості виходу критерію поломки зубка з діапазону зміни значень $\pm 5,1\%$ від середнього значення, та збільшенні ширини контрольованого діапазону зміни значень критерію заштибовки шнека до $\pm 10\%$ від середнього значення.

9. Запропонований алгоритм автоматичного управління і принцип побудови системи автоматичного управління видобувними комбайнами для тонких пологих шарів з позиції зниження питомих енерговитрат на основі критерію заштибовки шнека.

10. Розроблена імітаційна модель системи автоматичного управління видобувним комбайном і за допомогою методів аналізу випадкових даних доведена її адекватність до реальної системи. Імітаційне моделювання роботи системи автоматичного управління видобувним комбайном показало, що при переході до запропонованого в дисертаційній роботі способу автоматизації режимів роботи комбайну об'єм циркулюючого вугілля в робочому просторі шнека зменшується втричі, за рахунок чого питомі енерговитрати на видобуток вугілля знижуються на 40-50%.

11. Результати дослідження в дисертаційній роботі рекомендовані до впровадження в інституті «Дондівпровуглемаш» при проектуванні систем автоматичного управління видобувними комбайнами нового покоління.

Основні положення і результати дисертації опубліковано у роботах:

1. Бубликов А. В. Тенденции развития автоматических регуляторов режимов работы добычных комбайнов / А. В. Бубликов // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ, 2002. – Т. 2, № 15. – С. 74–79.
2. Бубликов А. В. Моделирование и исследование режима работы добычного комбайна при постоянной скорости резания / А. В. Бубликов // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2003. – Вип. 70. – С. 65–69.
3. Бубликов А. В. Особенности режима работы добычного комбайна КДК500 по критерию минимальных удельных энергозатрат (часть 1) / А. В. Бубликов, В. В. Бубликов, В. В. Загорудько // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2005. – Вип. 74. – С. 53–59.
4. Бубликов А. В. Особенности режима работы добычного комбайна КДК500 по критерию минимальных удельных энергозатрат (часть 2) / А. В. Бубликов, В. В. Бубликов, В. В. Загорудько // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2005. – Вип. 75. – С. 92–97.
5. Бубликов А. В. Алгоритм энергосберегающего управления добычным комбайном / В. В. Ткачев, Н. И. Стадник, А. В. Бубликов // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2009. – № 2. – С. 82–89.
6. Бубликов А. В. Снижение удельных энергозатрат очистных комбайнов для тонких пластов путем перехода к схеме расстановки резцов с одним резцом в линии резания / В. В. Ткачев, G. Gruhler, А. В. Бубликов // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ, 2009. – № 32. – С. 84–94.
7. Бубликов А. В. Влияние горно-геологических условий на оптимальный режим работы добычного комбайна УКД300 / В. В. Ткачев, А. В. Бубликов // Академический вестник Криворожского территориального отделения Международной Академии компьютерных наук и систем. – 2005. – № 15–16. – С. 63–68.
8. Бубликов А. В. Определение заштыбовки шнекового исполнительного органа малого диаметра добычного комбайна на основе статистического анализа мгновенных значений нагрузки на валу электродвигателя привода резания / В. В. Ткачев, А. В. Бубликов // Академический вестник Криворожского территориального отделения Международной Академии компьютерных наук и систем. – 2007. – № 20. – С. 40–46.
9. Бубликов А. В. Управление угольным комбайном по критерию минимальных удельных энергозатрат / А. В. Бубликов // Вісник Приазовського державного технічного університету. – Маріуполь, 2008. – № 18. – С. 88–92.
10. Бубликов А. В. Автоматизация режимов работы угольных комбайнов обеспечивающих энергосбережение / А. В. Бубликов // Автоматизація : проблеми, ідеї, рішення : міжнар. наук.-техн. конф., 8–12 вер. 2008 р. : тези допов. – Севастополь, 2008. – С. 52–55.

Особистий внесок здобувача в публікаціях: [3] – проведено імітаційне моделювання процесу різання вугілля шнеком на ЕОМ; [4] – досліджена залежність питомих енерговитрат сучасних видобувних комбайнів від режимів різання; [5] – розроблений критерій заштибовки шнека і проведений на його

основі синтез алгоритму автоматичного управління видобувним комбайном з позиції зниження питомих енерговитрат на видобуток вугілля; [6] – обґрунтована схема розташування зубків на шнеку з одним ріжучим зубком в лінії різання та розроблений критерій поломки зубка; [7] – визначений режим роботи видобувного комбайну, при якому спостерігаються мінімальні питомі енерговитрати на видобуток вугілля; [8] – обґрунтовані автокореляційні функції для імітації випадкових коливань у часі навантаження на шнеку.

АНОТАЦІЯ

Бубліков А.В. Автоматизація процесу управління видобувними комбайнами на основі моделювання роботи шнека. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування». – Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2010.

В дисертаційній роботі запропоноване рішення актуальної наукової задачі розробки критерію заштибовки шнека і синтезу на його основі алгоритму автоматичного управління видобувним комбайном з позиції зниження питомих енерговитрат на видобуток вугілля.

За критерій заштибовки шнека рекомендовано використовувати ковзне середнє відношення миттєвих значень потужності, споживаної електродвигуном приводу різання, які заміряні із зсувом у часі, що дорівнює чверті періоду обороту шнека. В результаті досліджень закономірностей зміни у часі критерію заштибовки шнека в дисертаційній роботі сформульована умова настання заштибовки шнека для системи автоматичного управління та визначені параметри алгоритму автоматичного управління видобувним комбайном з позиції зниження питомих енерговитрат на видобуток вугілля.

Проведене імітаційне моделювання роботи системи автоматичного управління видобувним комбайном на тонких шарах за запропонованим в дисертаційній роботі алгоритмом. Результати моделювання показали зменшення питомих енерговитрат на 40 – 50% при переході до запропонованого алгоритму автоматичного управління комбайном. За допомогою загальних методів аналізу випадкових даних підтверджена адекватність імітаційної моделі системи автоматичного управління видобувним комбайном до реальної системи.

Зроблений розрахунок основних показників оцінки економічного ефекту впровадження наукових розробок в дисертаційній роботі, згідно з якими проект впровадження признаний прибутковим з високим рівнем дохідності і окупається за один рік і десять місяців.

Запропонований спосіб автоматизації режимів роботи видобувних комбайнів рекомендований до впровадження в інституті Дондівпровуглемаш при проектуванні систем автоматичного управління видобувними комбайнами нового покоління для тонких пологих шарів.

Ключові слова: видобувний комбайн, імітаційна модель, процеси різання та навантаження вугілля, критерій заштибовки шнека, алгоритм автоматичного управління, мінімальні питомі енерговитрати.

АННОТАЦІЯ

Бубликов А.В. Автоматизация процесса управления добычными комбайнами на основе моделирования работы шнека. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – «Автоматизация процессов управления». – Национальный горный университет, Днепропетровск, 2010.

В диссертационной работе предложено решение актуальной научной задачи разработки критерия заштибовки шнека и синтеза на его основе алгоритма автоматического управления добычным комбайном с позиции снижения удельных энергозатрат на добычу угля.

Выполнен анализ существующих способов автоматизации добычных комбайнов на тонких пластах с точки зрения удельных энергозатрат на резание и погрузку угля шнеком. Анализ показал, что работа добычных комбайнов на тонких пластах в автоматическом режиме происходит с повышенными удельными энергозатратами, поскольку в существующем алгоритме автоматического управления комбайном не отслеживается заштибовка шнека.

Заштибовку шнека предлагается определять на основе статистического анализа мощности, потребляемой электродвигателем привода резания. Для исследования закономерностей изменения мощности во времени в диссертационной работе разработана интегральная имитационная модель “очистной забой – шнек малого диаметра – привод резания”, которая описывает процессы формирования нагрузки на шнеке и усилий в приводе резания.

Анализ закономерностей изменения во времени мощности, потребляемой электродвигателем привода резания, показал, что при разрушении угольного массива шнеком имеют место как случайные, так и периодические колебания мощности в широком спектре частот и диапазоне изменения значений. Эти колебания не содержат информации о процессе транспортирования и погрузки угля шнеком, следовательно, статистическая оценка мощности, которая используется для определения заштибовки шнека, должна быть нечувствительной к данным колебаниям.

В качестве критерия заштибовки шнека рекомендовано использовать скользящее среднее отношение мгновенных значений мощности, потребляемой электродвигателем привода резания, замеренных со смещением во времени, равным четверти периода оборота шнека. С помощью скользящего усреднения устраняется воздействие на отношение мощностей высокочастотных колебаний мощности при резании угля. Поскольку низкочастотная составляющая мощности имеет практически одинаковое значение на временных интервалах, смещенных на четверть периода оборота шнека, устраняется также воздействие на отношение мощностей низкочастотных колебаний мощности при резании угля.

В результате исследований закономерностей изменения во времени критерия заштыбовки шнека в диссертационной работе сформулировано условие наступления заштыбовки шнека для системы автоматического управления. Критерий заштыбовки шнека изменяется во времени случайным образом вокруг своего среднего значения в диапазоне с шириной $\pm 8,2\%$ от среднего значения, если погрузка угля шнеком осуществляется в нормальном режиме, и выходит из данного диапазона, если наступает заштыбовка шнека.

На основе предложенного критерия заштыбовки шнека разработан алгоритм автоматического управления добычным комбайном по критерию минимальных удельных энергозатрат, согласно которому можно выделить два режима работы системы автоматического управления – режим поиска критической по заштыбовке скорости подачи и режим ее отслеживания. В первом режиме система автоматического управления дискретно увеличивает скорость подачи с шагом по уровню, определяемым максимально допустимым приростом объема циркулирующего угля за оборот шнека, и шагом по времени, определяемым максимальным временем анализа критерия заштыбовки шнека. Во втором режиме автоматическая система периодически переводит добычной комбайн в режим работы с заштыбовкой шнека и проверяет установленное критическое по заштыбовке значение скорости подачи.

Проведено имитационное моделирование работы системы автоматического управления добычным комбайном на тонких пластах по предложенному в диссертационной работе алгоритму. Результаты моделирования показали уменьшение удельных энергозатрат на 40 – 50% при переходе к предложенному алгоритму автоматического управления комбайном. С помощью общих методов анализа случайных данных подтверждена адекватность имитационной модели системы автоматического управления добычным комбайном реальной системе.

Сделан расчет основных показателей оценки экономического эффекта внедрения научных разработок в диссертационной работе, согласно которым проект внедрения признан прибыльным с высоким уровнем доходности и окупается за один год и десять месяцев.

Предложенный способ автоматизации режимов работы добычных комбайнов рекомендован к внедрению в институте Донгипроуглемаш при проектировании систем автоматического управления добычными комбайнами нового поколения для тонких пологонаклонных пластов.

Ключевые слова: добычной комбайн, имитационная модель, процессы резания и погрузки угля, критерий заштыбовки шнека, алгоритм автоматического управления, минимальные удельные энергозатраты.

SUMMARY

Bublikov A.V. Automation of Control Process by Shearer Loaders on the Basis of Modeling of Auger Work. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Candidate of Technical Sciences on a speciality 05.13.07 «Automation of Control Processes». – National Mining university, Dnipropetrovsk, 2010.

In dissertation work the solution of an actual scientific problem of development of criterion of auger clogging and designing of the algorithm of automatic control by shearer loaders from the viewpoint of decreasing of energy intensity is offered.

The sliding average ratio of instant magnitudes of engine power of the drive of the cutting which are measured with a time shift equal to the quarter period of auger rotation is recommended as a criterion of auger clogging. The condition of beginning of auger clogging for the system of automatic control is formulated, and the parameters of algorithm of automatic control by the shearer loader from the viewpoint of decreasing of energy intensity are determined in dissertation work during research of dynamics of criterion of auger clogging.

The simulation of working of the system of automatic control by the shearer loader on thin seams in accordance with algorithm offered in dissertation work is carried out. The results of simulation have shown the decreasing of energy intensity by 40 – 50 % while transition to the offered algorithm of automatic control by a shearer loader. The adequacy of the simulation model of the system of automatic control by the shearer loader to a real system is confirmed with the help of general methods of the analysis of random data.

The basic criterions of economic effect of application of scientific developments in dissertation work are calculated, according to which the project of application is admitted by profitable with a high level of profitableness and is repaid for a year and ten months.

The offered method of automation of work of shearer loaders mode is recommended to application in Dongiprouglemash Institute while designing automatic system of control by shearer loaders of new generation for thin flat seams.

Key words: shearer loader, simulation model, processes of cutting and lading of coal, criterion of auger clogging, algorithm of automatic control, minimal energy intensity.

Бубліков Андрій Вікторович

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ВИДОБУВНИМИ
КОМБАЙНАМИ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ШНЕКА**

(Автореферат)

Підписано до друку 31.05.2010. Формат 60×90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 прим. Зам. №137.

Національний гірничий університет
49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.