

УДК 622.232.72:004.942

А.В. Бубликов, канд. техн. наук

(Україна, Дніпро, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка")

СТВОРЕННЯ БАЗ ПРАВИЛ ДЛЯ СИСТЕМ НЕЧІТКОГО АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ВИДОБУВНОГО КОМБАЙНА

Розглянуто новий принцип побудови системи автоматичного керування режимами роботи видобувного комбайна на основі нечіткої логіки. Виконано обґрунтування режимів роботи видобувного комбайна та їх характеристик з точки зору автоматизації процесу керування комбайном. Описано один із етапів алгоритму нечіткого виводу – формування бази правил нечітких продукцій. Обґрунтовано алгоритми прийняття рішень щодо зміни висоти підняття виконавчого органу та швидкості різання видобувного комбайна для системи нечіткого керування. Рішення щодо зміни висоти підняття виконавчого органу та швидкості різання приймаються на основі ситуативного аналізу з метою забезпечення ефективного режиму роботи видобувного комбайна. На основі цих алгоритмів сформовано переліки правил нечітких продукцій та створено бази правил систем нечіткого керування режимами роботи видобувного комбайна.

Ключові слова: видобувний комбайн, система нечіткого автоматичного керування, експертні системи.

Рассмотрен новый принцип построения системы автоматического управления режимами работы добычного комбайна на основе нечеткой логики. Выполнено обоснование режимов работы добычного комбайна и их характеристик с точки зрения автоматизации процесса управления комбайном. Описан один из этапов алгоритма нечеткого вывода – формирование базы правил нечетких продукций. Обоснованы алгоритмы принятия решений касательно изменения высоты подъема исполнительного органа и скорости резания добычного комбайна для системы нечеткого управления. Решения по изменению высоты подъема исполнительного органа и скорости резания принимаются на основе ситуационного анализа с целью обеспечения эффективного режима работы добычного комбайна. На основе этих алгоритмов сформированы списки правил нечетких продукций и созданы базы правил систем нечеткого управления режимами работы добычного комбайна.

Ключевые слова: добычной комбайн, система нечеткого автоматического управления, экспертные системы.

The new principle of synthesis of system of automatic control by operation modes of a coal-combine based on fuzzy logic is considered. The substantiation of the operation modes of the coal-combine and their characteristics from the point of view of automation of the process of controlling the coal-combine has been carried out. One of the phases of the algorithm of fuzzy output is considered - the formation of the base of rules for fuzzy control system. A substantiation of the decision-making algorithms for changing the lifting height of the executive body and cutting rate of the coal-combine for the fuzzy control system has been carried out. The decisions to change the lifting height of the executive body and cutting rate are taken on the basis of a situational analysis in order to ensure the efficient operation mode of the coal-combine. On the basis of these algorithms the bases of rules of systems of fuzzy control by the operation modes of coal-combine have been created.

Keywords: coal-combine, system of fuzzy automatic control, expert systems.

Вступ

Вугільний видобувний комбайн сучасного покоління є високотехнологічною гірничою машиною, що характеризується складним характером взаємопов'язаних фізичних процесів у її конструктивних вузлах, а також складним характером взаємодії із зовнішнім середовищем. Це є причиною того, що нині на видобувних комбайнах відсутні системи керування так званого верхнього рівня, які в режимі реального часу на основі аналізу інформаційних сигналів здатні приймати рішення щодо керування комбайном у різних ситуаціях в автономному режимі замість оператора. У роботах [1-3] описані основи створення таких систем, коли видобувний комбайн розглядається як мехатронна система, а система керування комбайном верхнього рівня фактично є її інформативною компонентою.

За умови аналізу підходу щодо створення системи керування видобувним комбайном високого рівня слід відзначити добре вивчені умови роботи видобувних комбайнів та усі особливості керування ними [4-6]. Крім того, потрібно врахувати відносно простий алгоритм дій операторів за умови керування комбайнами та досить короткий список ситуацій, які аналізує оператор за умови прийняття рішень [4-6]. Та-

ким чином, розгляд алгоритму керування комбайном для системи верхнього рівня у вигляді бази незмінних правил нечітких продукцій є цілком прийнятним.

Постановка задачі

У статті поставлена задача формування переліку можливих ситуацій за умови керування видобувним комбайном та проведення класифікації даних ситуацій на основі введення понять режимів роботи комбайна та їх характеристик. Також, з оглядом на відомий підхід щодо формування бази правил у рамках створення алгоритму нечіткого виводу [7], поставлена задача встановлення причинно-наслідкових зв'язків за умови прийняття рішень у різних ситуаціях при керуванні видобувним комбайном з метою створення баз правил для систем нечіткого автоматичного керування певними режимами роботи комбайна.

Рішення задачі

Пропонується універсальний підхід щодо класифікації можливих ситуацій за умови керування видобувним комбайном. Згідно з ним існує перелік характеристик режимів роботи видобувного комбайна, кожна з яких відповідає унікальній комбінації фізичних процесів як усередині конструктивних вузлів машини, так і за умови взаємодії конструктивних вузлів із зовнішнім середовищем. Таким чином, робота видобувного комбайна розглядається як послідовна зміна у часі характеристик режимів роботи за певною траєкторією, причому кожна з характеристик спостерігається деякий час. Завданням керування у такому випадку є пошук та забезпечення траєкторії зміни характеристик режимів роботи гірничої машини, за умови якої маємо економічні, технічні та технологічні показники ефективності роботи машини, що близькі до оптимальних.

Виділення певних режимів роботи видобувного комбайна базується на аналізі поведінки людини-оператора у багатьох ситуаціях за умови керування видобувним комбайном у заборі в ручному режимі. Протягом аналізу насамперед виділялися ті особливості роботи конструктивних вузлів комбайна, на які оператор передусім звертав увагу при прийнятті рішень щодо керування комбайном. Матеріалом для аналізу є інформація щодо експлуатації та випробувань видобувних комбайнів різних типів на вугільних шахтах України, Казахстану та Росії, яка у значній мірі накопичена за декілька десятиліть [4-6]. Нижче у табличній формі як результат аналізу наведений перелік дій оператора щодо керування неперервними параметрами комбайна (швидкістю подачі та положенням виконавчих органів) в середній частині забою у нормальному режимі роботи, а також перелік відповідних причин, які зумовили ці дії, та їх ознак.

Результати аналізу поведінки оператора видобувного комбайну

Дія оператора комбайна	Причина дії та її ознака	Мета дії
Зменшення швидкості подачі	Нестабільне переміщення видобувного комбайна із-за нерівності ґрунту, перекосів риштачного поставу забійного конвеєра, заштибовки його навісного обладнання у зоні опорних елементів комбайна. Оператор безпосередньо візуально фіксує заштибовку навісного обладнання конвеєра або перекіс його риштачного поставу, або помічає суттєві вібрації та кутові переміщення корпусу комбайна (“галоупування”, “притоптування”, розворот)	Зменшити вібрацію та кутові переміщення корпусу комбайна
Зменшення швидкості подачі	Перевантаження двигуна приводу різання за причиною підвищення міцності вугілля, наявності міцного прошарку породи або значної кількості мінеральних включень. Оператор фіксує підвищений шум двигуна та (або) значне зменшення швидкості обертання виконавчого органу	Усунути перевантаження двигуна приводу різання
Зменшення швидкості подачі	Заштибовка виконавчого органу комбайна із-за перевищення його навантажувальної продуктивності. Оператор безпосередньо візуально фіксує накопичення вугілля й породи у робочому об'ємі виконавчого органу	Усунути заштибовку виконавчого органа комбайна
Зменшення швидкості подачі	У зоні виконавчих органів комбайна відбувається накопичення вугілля у жолобі риштачного поставу забійного конвеєра. Оператор безпосередньо візуально фіксує накопичення вугілля	Усунути накопичення вугілля у жолобі конвеєра
Зменшення швидкості подачі	Секції механізованого кріплення не встигають закріплювати “оголений” простір забою за комбайном. Оператор безпосередньо візуально фіксує відставання секцій кріплення	Усунути відставання секцій кріплення
Зменшення швидкості подачі	Оператор не встигає за комбайном	Синхронне переміщення з комбайном

Автоматизація виробничих процесів

		Продовження
Дія оператора комбайна	Причина дії та її ознака	Мета дії
Збільшення швидкості подачі	Відсутня будь-яка з перелічених вище причин зменшення швидкості подачі	Підвищити продуктивність комбайна
Підняття виконавчого органу біля покрівлі	Біля покрівлі залишається пачка вугілля. Фіксується безпосередньо оператором візуально	Забезпечити хід виконавчого органу по межі "порода – вугілля"
Опускання виконавчого органу біля покрівлі	Біля покрівлі руйнується пачка породи. Фіксується безпосередньо оператором візуально	Забезпечити хід виконавчого органу по межі "порода – вугілля"

Як бачимо, рішення оператора в основному залежать від:

- режиму роботи двигуна приводу різання (оператор за звуковим сигналом розпізнає перевантаження двигуна);
- режиму руйнування масиву вугілля й породи виконавчими органами, який визначається структурою масиву (оператор фіксує наявність залишкової пачки вугілля біля покрівлі або присікання породи зубками). Також матеріал, що руйнується зубками виконавчого органу, визначає навантаження на валу двигуна приводу різання, тобто його режим роботи;
- режиму транспортування та навантаження зруйнованого матеріалу виконавчим органом на забійний конвеєр (оператор фіксує накопичення вугілля у робочому об'ємі виконавчого органу).

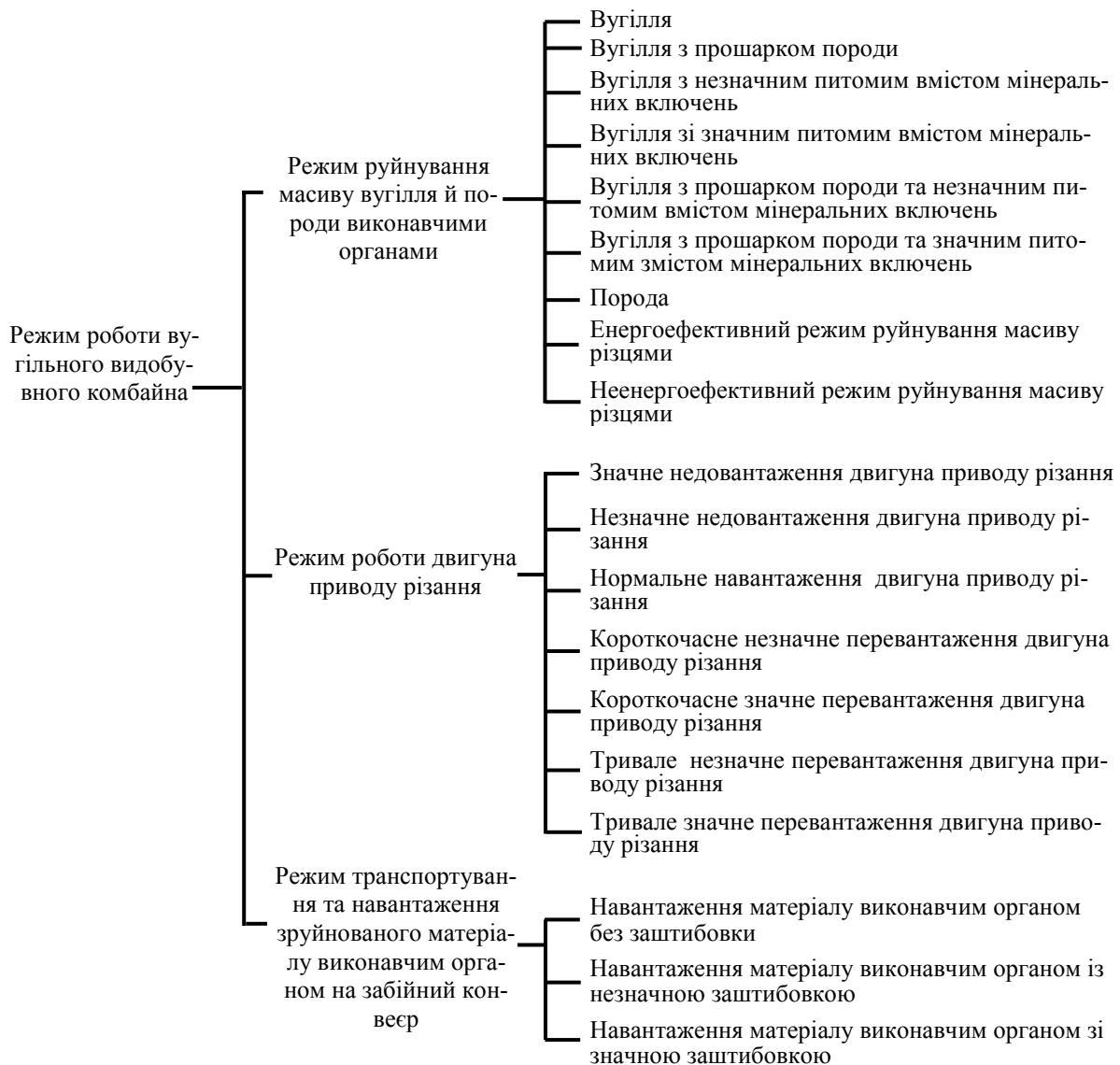


Рис. 1. Схема режимів роботи вугільного видобувного комбайна та характеристики цих режимів

Кожний з трьох перелічених режимів роботи видобувного комбайна, що визначають дії оператора, є комплексним поняттям, яке може розглядатися як сукупність більш деталізованих характеристик, що уточнюють режим роботи комбайна (рис.1).

За умови створення бази правил нечітких продукцій перелічені у правій частині рис.1 характеристики режимів роботи видобувного комбайна приймаються за вхідні лінгвістичні змінні системи нечіткого керування комбайном та, відповідно, за підумови правил нечітких продукцій бази правил системи.

У свою чергу, дії оператора комбайна у наведеній вище таблиці приймаються за висновки правил нечітких продукцій з можливістю подальшого уточнення дії (незначне зменшення швидкості подачі тощо) на основі аналізу комбайна як об'єкта керування.

Використаємо описаний підхід для створення баз правил нечітких продукцій для систем нечіткого автоматичного керування режимом руйнування масиву вугілля й породи виконавчими органами видобувного комбайна.

Відомо, що залежно від значення товщини стружки, яка знімається різцем виконавчого органа комбайна, протікає різний за своїм характером фізичний процес різання різцем масиву вугілля (повторний, переривчасто-повторний, щілинний тощо) [8]. Серед перелічених видів різання різцями вугілля й породи можна виділити неенергоєфективний вид різання (щілинний), коли маємо підвищені питомі енерговитрати на руйнування масиву вугілля, та енергоєфективні види різання (повторний, переривчасто-повторний), коли питомі енерговитрати близькі до свого мінімального значення. Проведемо аналіз, як означені види різання зв'язані з величиною товщини стружки, що знімається різцем, на основі статичної робочої характеристики видобувного комбайна (рис.2), яка отримана за допомогою комплексної імітаційної моделі комбайна [9].

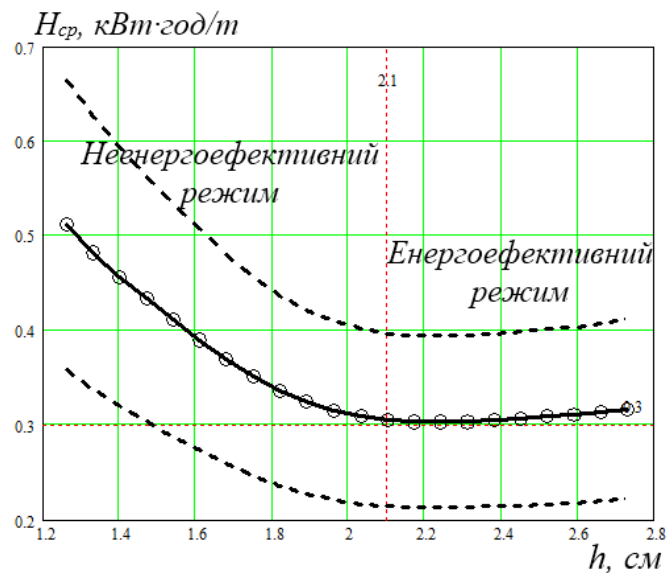


Рис. 2. Статичні залежності питомих енерговитрат на різання вугілля від товщини стружки вугілля

Статична залежність питомих енерговитрат від товщини стружки вугілля є суттєво несиметричною відносно мінімального екстремуму (рис.2). Якщо до екстремуму питомі енерговитрати за умови збільшення товщини стружки з 0,25 до 2,5 см зменшуються на 43,3 %, то після екстремуму за умови збільшення товщини стружки з 2,5 до 5 см питомі енерговитрати збільшуються на 4,3 %. Це пояснюється характером процесу різання різцем масиву вугілля – до мінімального екстремуму за умови високих питомих енерговитрат маємо суттєво неенергоєфективний щілинний вид різання різцями масиву вугілля. По мірі збільшення товщини стружки поступово щілинний вид різання стає переривчасто-повторним, а потім – повторним. Обидва види різання за ступенем енергоєфективності розрізняються незначно (до 10%), тож частина графіку на рис.2, де питомі енерговитрати суттєво не змінюються та відрізняються від мінімального значення не більше ніж на 5-7 %, відповідає саме цим видам різання.

За результатом аналізу статичної робочої характеристики комбайна (рис.2) за неенергоєфективний режим різання приймаємо щілинний вид різання різцем масиву вугілля. При цьому для даного режиму характерне суттєве зменшення питомих енерговитрат за умови збільшення товщини стружки.

Відповідно, за енергоєфективний режим різання приймаємо переривчасто-повторний та повторний види різання різцем масиву вугілля. При цьому для даного режиму різання характерна несуттєва зміна питомих енерговитрат за умови збільшення товщини стружки (рис.2).

Залежність середніх питомих енерговитрат на різання вугілля від товщини стружки є нестационарною – зміна опірності вугілля різанню вздовж забою зміщує статичну характеристику вгору або вниз без суттєвої зміни її форми (пунктирні лінії на рис.2). Але значення товщини стружки вугілля, що відповідає межі між енергоефективним та неенергоефективним режимами руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна, при цьому є незмінним, та в основному залежить від конструктивних параметрів різців та виконавчих органів видобувного комбайна. Тож, це значення товщини стружки змінюється несуттєво у процесі роботи комбайна. Це дозволяє за умови створення бази правил нечітких продукцій для системи нечіткого автоматичного керування використати алгоритм пошуку межі між енергоефективним та неенергоефективним режимами руйнування масиву вугілля виконавчим органом, згідно з яким відбувається послідовна зміна товщини стружки вугілля на постійну величину з ідентифікацією після кожної зміни товщини стружки режиму руйнування масиву виконавчим органом. В залежності від результату ідентифікації напрям зміни товщини стружки залишається таким самим, або змінюється. Даний алгоритм можна представити такими правилами:

- товщина стружки вугілля збільшується на незначну величину, якщо за результатами двох послідовних процедур ідентифікації характеристик режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна зафіксовано неенергоефективний режим руйнування;

- товщина стружки вугілля зменшується на незначну величину, якщо за результатами двох послідовних процедур ідентифікації характеристик режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна зафіксовано енергоефективний режим руйнування.

Як видно з опису запропонованого алгоритму пошуку межі між енергоефективним та неенергоефективним режимами руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна, до нього додане правило, згідно з яким товщина стружки змінюється, тільки якщо певна характеристика режиму зафіксована за результатом ідентифікації два рази поспіль. Введення даного правила збільшує час пошуку межі між енергоефективним та неенергоефективним режимами руйнування масиву вугілля виконавчим органом на декілька кроків прийняття рішення системою (приблизно на 20-30 с), але при цьому дозволяє зменшити вірогідність неточної ідентифікації режиму руйнування масиву виконавчим органом й запобігти відхиленню від межі у режимі її відстеження системою. З оглядом на практичну незмінність товщини стружки вугілля, що відповідає межі між енергоефективним та неенергоефективним режимами руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна, режим відстеження системою даної межі є основним, тож застосування правила зміни товщини стружки тільки за умови ідентифікації певної характеристики режиму два рази поспіль є доцільним.

Представимо описаний алгоритм керування режимом руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна у вигляді діаграми станів кінцевого автомату (графу переходів), прийнявши характеристики режиму за вершини графа (рис.3). Дуги графа (рис.3) описують переходи від одної характеристики режиму руйнування до іншої, причому незмінність характеристики приймається як окремий перехід з відповідним лінгвістичним смислом.

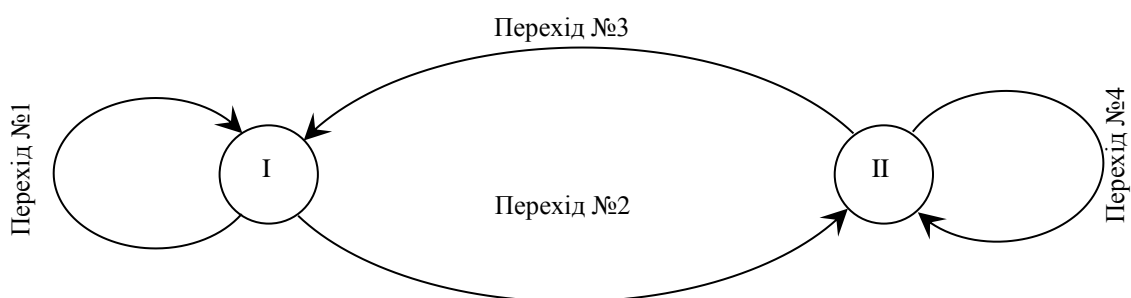


Рис. 3. Алгоритм прийняття рішень щодо зміни товщини стружки для системи нечіткого автоматичного керування режимом руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна

Стан I системи на рис.3 відповідає енергоефективному режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна, стан II – неенергоефективному режиму руйнування. Між переходами із стану в стан (рис.3) існує часова затримка з метою проведення збору даних для розрахунку інформативного критерію, що визначає умови переходів.

Умовами переходу №1 на рис.3 є перебування у стані I та ідентифікація характеристики режиму роботи “Енергоефективний режим руйнування масиву різцями”, а дією – зменшення товщини стружки через збільшення швидкості обертання виконавчого органа.

Перехід №2 (рис.3) здійснюється за умови перебування у стані I та ідентифікації характеристики режиму роботи “Неенергоєфективний режим руйнування масиву різцями”. При цьому швидкість обертання виконавчого органа комбайна суттєво не змінюється.

Перехід №3 відбувається за умови перебування у стані II та ідентифікації характеристики режиму роботи “Енергоєфективний режим руйнування масиву різцями”. При цьому швидкість обертання виконавчого органа суттєво не змінюється.

Умовами переходу №4 (рис.3) є перебування у стані II та ідентифікація характеристики режиму роботи “Неенергоєфективний режим руйнування масиву різцями”, а дією – збільшення товщини стружки через зменшення швидкості обертання виконавчого органу.

На основі запропонованого алгоритму прийняття рішень щодо зміни швидкості обертання виконавчого органа комбайна сформуємо перелік правил нечітких продукцій, що складуть основу бази правил системи нечіткого автоматичного керування режимом руйнування масиву вугілля виконавчим органом. Для цього у контексті нечіткої логіки введемо такі лінгвістичні нечіткі вислови стосовно умов правил нечітких продукцій (при цьому для спрощення у висловах під режимом роботи мається на увазі його характеристика):

- відбувається енергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом (*P1*);
- відбувається неенергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом (*P2*);
- до цього відбувалося енергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом (*P3*);
- до цього відбувалося неенергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом (*P4*).

Також у контексті нечіткої логіки введемо такі лінгвістичні нечіткі вислови стосовно висновків правил нечітких продукцій:

- швидкість обертання виконавчого органа видобувного комбайна збільшується (*Z1*);
- швидкість обертання виконавчого органа видобувного комбайна суттєво не змінюється (*Z2*);
- швидкість обертання виконавчого органа видобувного комбайна зменшується (*Z3*).

Перелік правил нечітких продукцій для системи нечіткого автоматичного керування режимом руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна:

1. ЯКЦО “відбувається енергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом” ТА “до цього відбувалося енергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом”, ТО “швидкість обертання виконавчого органа видобувного комбайна збільшується”.

2. ЯКЦО “відбувається неенергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом” ТА “до цього відбувалося енергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом”, ТО “швидкість обертання виконавчого органа видобувного комбайна суттєво не змінюється”.

3. ЯКЦО “відбувається енергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом” ТА “до цього відбувалося неенергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом”, ТО “швидкість обертання виконавчого органа видобувного комбайна суттєво не змінюється”.

4. ЯКЦО “відбувається неенергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом” ТА “до цього відбувалося неенергоєфективне руйнування масиву виконавчим органом”, ТО “швидкість обертання виконавчого органа видобувного комбайна зменшується”.

Також використаємо описаний вище підхід щодо створення бази правил нечітких продукцій для системи нечіткого автоматичного керування виконавчим органом видобувного комбайна за гіпсометрією вугільного пласта, яка використовує такі характеристики режиму руйнування масиву вугілля й породи виконавчими органами видобувного комбайна, як «Руйнування виконавчим органом вугілля біля покрівлі пласта» та «Руйнування виконавчим органом породи біля покрівлі пласта».

Аналіз інформації стосовно поведінки операторів видобувних комбайнів в умовах їх експлуатації на шахтах України, Казахстану та Росії з тонкими вугільними пластами на основі інформації, яка у значній мірі накопичена за декілька десятиліть [4-6], дозволив виявити певні закономірності у діях операторів щодо ручного режиму керування виконавчим органом комбайна за гіпсометрією пласта. Спочатку оператор комбайна циклічно підіймає виконавчий орган на значну величину з витримкою паузи між підйомними для візуального оцінювання, де знаходиться межа порода-вугілля за виконавчим органом. Якщо оператор помічає присікання породи біля покрівлі виконавчим органом, він починає циклічно опускати виконавчий орган на незначну величину з витримкою пауз між опусканнями, доки присікання породи стане незначним або повністю буде відсутнім. Після фіксування межі порода-вугілля, оператор виконує знову циклічні й східчасті підйомання та опускання виконавчого органа, але постійно на незначну величину та з набагато більшим періодом циклу, що пов'язано з повільною зміною у просторі гіпсометрії пласта.

З оглядом на описані закономірності у діях операторів щодо ручного режиму керування виконавчим органом комбайна за гіпсометрією пласта пропонується за умови створення бази правил нечітких продукцій для системи використати такий алгоритм керування виконавчим органом:

- виконавчий орган підіймається на незначну величину, якщо присікання породи біля покрівлі виконавчим органом не зафіксовано за результатами двох поспіль проведених процедур ідентифікації характеристик режиму руйнування матеріалу біля покрівлі пласта;

- виконавчий орган опускається на незначну величину, якщо присікання породи біля покрівлі виконавчим органом зафіксовано за результатами двох поспіль проведених процедур ідентифікації характеристик режиму руйнування матеріалу біля покрівлі пласта.

Як видно з опису запропонованого алгоритму керування виконавчим органом комбайна за гіпсометрією пласта, до нього введена умова зміни положення виконавчого органа, тільки якщо присутність або відсутність унікальної закономірності в інформаційному сигналі, що властива лише процесу присікання породи біля покрівлі пласта виконавчим органом, фіксується два рази поспіль. Це зменшує вірогідність неточної ідентифікації режиму руйнування матеріалу біля покрівлі пласта, та не позначається на якості відстеження системою межі порода-вугілля, оскільки гіпсометрія пласта змінюється у просторі значно повільніше у порівнянні з часом, необхідним для ідентифікації присікання породи виконавчим органом.

Представимо описаний алгоритм керування виконавчим органом за гіпсометрією пласта у вигляді діаграми станів кінцевого автомата (графа переходів), прийнявши характеристики режиму руйнування прошарку матеріалу біля покрівлі за вершини графа. З урахуванням кількості характеристик структура графу буде повністю ідентичною структурі графа на рис.3 тож, прийнявши рис.3 за основу, виконаємо описання графа для випадку керування виконавчим органом за гіпсометрією пласта.

Дуги графа (рис.3) описують переходи від однієї характеристики режиму руйнування прошарку матеріалу біля покрівлі до іншої, причому незмінність характеристики приймається як окремий перехід з відповідним лінгвістичним смислом.

Стан I системи (рис.3) відповідає режиму відсутності присікання породи безпосередньої покрівлі пласта виконавчим органом, стан II – режиму наявності присікання породи біля покрівлі пласта.

Умовами переходу №1 (рис.3) є перебування у стані I та ідентифікація характеристики режиму роботи “Присікання породи відсутнє”, а дією – незначне збільшення висоти підняття виконавчого органа.

Перехід №2 здійснюється за умови перебування у стані I та ідентифікації характеристики режиму роботи “Присікання породи присутнє”. При цьому висота підняття виконавчого органа суттєво не змінюється.

Перехід №3 відбувається за умови перебування у стані II та ідентифікації характеристики режиму роботи “Присікання породи відсутнє”. При цьому висота підняття виконавчого органа суттєво не змінюється.

Умовами переходу №4 є перебування у стані II та ідентифікація характеристики режиму роботи “Присікання породи присутнє”, а дією – незначне зменшення висоти підняття виконавчого органа.

На базі запропонованого алгоритму прийняття рішень щодо зміни положення виконавчого органа комбайна сформуємо перелік правил нечітких продукцій, що складуть основу бази правил системи нечіткого автоматичного керування комбайном за гіпсометрією пласта. Для цього у контексті нечіткої логіки введемо такі лінгвістичні нечіткі вислови стосовно умов правил нечітких продукцій (при цьому для спрощення у висловах під режимом роботи мається на увазі його характеристика):

- присікання породи відсутнє (P1);
- присікання породи присутнє (P2);
- до цього не спостерігалось присікання породи (P3);
- до цього спостерігалось присікання породи (P4).

Також у контексті нечіткої логіки введемо такі лінгвістичні нечіткі вислови стосовно висновків правил нечітких продукцій:

- відбувається збільшення висоти підняття виконавчого органа видобувного комбайна (Z1);
- висота підняття виконавчого органа видобувного комбайна суттєво не змінюється (Z2);
- відбувається зменшення висоти підняття виконавчого органа видобувного комбайна (Z3).

Перелік правил нечітких продукцій для системи нечіткого керування комбайном за гіпсометрією пласта:

1. ЯКЦО “присікання породи відсутнє” ТА “до цього не спостерігалось присікання породи”, ТО “відбувається збільшення висоти підняття виконавчого органа видобувного комбайна”.

2. ЯКЦО “присікання породи відсутнє” ТА “до цього спостерігалось присікання породи”, ТО “висота підняття виконавчого органа видобувного комбайна суттєво не змінюється”.

3. ЯКЦО “присікання породи присутнє” ТА “до цього не спостерігалось присікання породи”, ТО “висота підняття виконавчого органа видобувного комбайна суттєво не змінюється”.

4. ЯКЦО “присікання породи присутнє” ТА “до цього спостерігалось присікання породи”, ТО “відбувається зменшення висоти підняття виконавчого органа видобувного комбайна”.

Висновки

1. На основі аналізу інформації щодо поведінки операторів видобувних комбайнів в умовах їх експлуатації на шахтах України, Казахстану та Росії з тонкими вугільними пластами виділено три режими

роботи комбайна, які впливають на прийняття рішень оператором: режим роботи двигуна приводу різання, режим руйнування масиву вугілля й породи виконавчими органами та режим транспортування і навантаження зруйнованого матеріалу виконавчим органом на забійний конвеєр. За умови створення баз правил нечітких продукцій для систем нечіткого автоматичного керування режимами роботи комбайна характеристики цих режимів прийняті за підумови правил нечітких продукцій, а дії оператора комбайна – за висновки правил нечітких продукцій з можливістю подальшого уточнення дії.

2. Незмінність у процесі роботи комбайна товщини стружки вугілля, що відповідає межі між енергоефективним та неенергоефективним режимами руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна, дозволяє системі нечіткого автоматичного керування за умови прийняття рішення враховувати результат ідентифікації характеристик режиму руйнування на попередніх кроках, що зменшує вірогідність неточної ідентифікації режиму руйнування. Для цього використані додаткові терми для вхідної лінгвістичної змінної системи та підумови у базі правил нечітких продукцій системи.

3. Завдяки тому, що гіпсометрія пласта змінюється у просторі значно повільніше у порівнянні з часом, необхідним для ідентифікації присікання породи виконавчим органом, є можливість в алгоритмі прийняття рішень системою нечіткого автоматичного керування органом за гіпсометрією пласта забезпечити прийняття рішення щодо зміни положення виконавчого органу за умови появи відповідної унікальної закономірності в інформаційному сигналі не один, а декілька разів поспіль. Це забезпечується введенням окремих термів для вхідної лінгвістичної змінної системи “до цього перебували у режимі ...” та складних умов у базі правил нечітких продукцій системи на кшталт “до цього перебували у режимі руйнування породи” ТА “наразі перебуваємо у режимі руйнування породи”. Завдяки цьому зменшується вірогідність неточної ідентифікації режиму руйнування матеріалу біля покрівлі пласта.

Список літератури

1. Стадник Н. И. Мехатроника в угольном машиностроении // Н. И. Стадник, А. В. Сергеев, В. П. Кондрахин / Горное оборудование и электромеханика. – М.: Новые технологии, 2007. – № 4. – С. 20 – 29.
2. Стадник Н.И. Мехатронный подход при анализе движущихся горных комплексов // Н. И. Стадник / Энергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу. – 2013. – № 1(19). – С. 91 – 98.
3. Бубликов А. В. Створення бази правил для системи нечіткого автоматичного керування видобувним комбайном за критерієм мінімальних питомих енерговитрат / А. В. Бубликов // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – Д. : НГУ, 2018. – Вип. 100. – С. 103 – 108.
4. Проведение испытаний работы очистного комбайна УКД300 в условиях шахты «Павлоградская»: Отчет о научно-исследовательской работе / [науч. рук. Н. И. Стадник]. — Донецк : Донгипроуглемаш, 2004. – 35 с.
5. Топорков А. А. Машинист горных выемочных машин / А. А. Топорков. – М. : Недра, 1991. – 334 с.
6. Крестовоздвиженский П. Д. Некоторые результаты наблюдений за работой очистных комбайнов на шахтах Кузбасса / П. Д. Крестовоздвиженский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 6. – С. 120–123.
7. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А. В. Леоненков. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
8. Позин Е. З. Разрушение углей выемочными машинами / Е. З. Позин, В. З. Меламед, В. В. Тон. – М. : Недра, 1984. – 288 с.
9. Бубликов А. В. Експертна система нечіткого автоматичного керування видобувним комбайном як частина мехатронної системи / А. В. Бубликов // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – Д. : НГУ, 2016. – Вип. 97. – С. 41 – 48.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Ткачовим В.В.

УДК 622.489:658.012.011

А.В. Малієнко, Л.С. Коряшкіна, С.В. Козир
(Україна, Дніпро, НТУ «Дніпровська політехніка»)

НЕЛІНІЙНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ З УРАХУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ, ЕНЕРГЕТИЧНИХ І ВИРОБНИЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ШАХТИ

Анотація. Розглянуто задачу оптимізації плану видобутку вугілля за певний період часу в межах однієї шахти з урахуванням трьох типів обмежень: технологічних – за вмістом золи, сірки і вологи у загальному обсязі видобутого вугілля; виробничих – на планову потужність лав і поточний стан сховища вугілля поверхні (СВП); енергетичних – на максимально можливе електричне навантаження по вугільному підйому, транспорту і водовідлив. Критерієм оптимізації є мінімальна сумарна собівартість ви-