

А.В. Бубліков, канд. техн. наук

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

СТВОРЕННЯ БАЗИ ПРАВИЛ ДЛЯ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВИДОБУВНИМ КОМБАЙНОМ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМАЛЬНИХ ПИТОМИХ ЕНЕРГОВИТРАТ

Розглянуто новий принцип побудови системи автоматичного керування видобувним комбайном на основі нечіткої логіки. Розглядається один з етапів алгоритму нечіткого виводу – формування бази правил нечітких продукцій. Проведене обґрунтування алгоритму прийняття рішень щодо зміни швидкості подачі видобувного комбайна для системи нечіткого керування. Рішення щодо зміни швидкості подачі приймається на основі ситуативного аналізу з метою забезпечення енергоефективного режиму роботи видобувного комбайна. На основі цього алгоритму сформований перелік правил нечітких продукцій та створена база правил системи нечіткого управління видобувним комбайном за критерієм мінімальних питомих енерговитрат.

Ключові слова: видобувний комбайн, система нечіткого автоматичного керування, енергоефективний режим

Рассмотрен новый принцип построения системы автоматического управления добычным комбайном на основе нечеткой логики. Рассматривается один из этапов алгоритма нечеткого вывода – формирование базы правил нечетких продукций. Проведено обоснование алгоритма принятия решений касательно изменения скорости подачи добычного комбайна для системы нечеткого управления. Решение по изменению скорости подачи принимается на основе ситуационного анализа с целью обеспечения энергоэффективного режима работы добычного комбайна. На основе этого алгоритма сформирован перечень правил нечетких продукций и создана база правил системы нечеткого управления добычным комбайном по критерию минимальных удельных энергозатрат.

Ключевые слова: добычной комбайн, система нечеткого автоматического управления, энергоэффективный режим

The new principle of synthesis of system of automatic control for a coal-combine based on fuzzy logic is considered. 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 algorithm for changing the feed rate of the coal-combine for the fuzzy control system has been carried out. The decision to change the feed rate is taken on the basis of a situational analysis in order to ensure the energy-efficient working mode of the coal-combine. On the basis of this algorithm the base of rules of system of fuzzy control by coal-combine on the criterion of minimum specific energy consumption has been created.

Keywords: coal-combine, system of fuzzy automatic control, the energy-efficient working mode.

Вступ

Вугільний видобувний комбайн сучасного покоління є високотехнологічною гірничою машиною, що характеризується складним характером взаємопов'язаних фізичних процесів в її конструктивних вузлах, а також складним характером взаємодії з зовнішнім середовищем. Це є причиною того, що на сьогодні на видобувних комбайнах відсутні системи керування так званого верхнього рівня, що у режимі реального часу на основі аналізу інформаційних сигналів здатні приймати рішення щодо керування комбайном у різних ситуаціях в автономному режимі замість оператора. У роботах [1,2] запроваджені 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 щодо їх керування [3]. 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]. З урахуванням цього, представлення алгоритму керування для системи керування комбайном верхнього рівня у вигляді бази незмінних правил нечітких продукцій є цілком прийнятним.

Постановка задачі

З оглядом на відомий підхід щодо формування бази правил у рамках створення алгоритму нечіткого виводу [5], наразі є актуальною наукова задача встановлення причинно-наслідкових зв'язків за умови

прийняття рішень у різних ситуаціях при керуванні видобувним комбайном з метою створення бази правил для системи нечіткого автоматичного керування видобувним комбайном за критерієм мінімальних питомих енерговитрат.

Рішення задачі

Аналіз інформації щодо поведінки операторів видобувних комбайнів в умовах експлуатації комбайнів на шахтах України, Казахстану та Росії з тонкими вугільними пластами, яка у значній кількості накопичена за декілька десятиліть [3,4], дозволив виявити певні закономірності у діях операторів щодо ручного режиму управління швидкістю подачі.

Оператор збільшує швидкість подачі видобувного комбайна з підвищеною інтенсивністю, доки не помічає накопичення циркулюючого вугілля у робочому просторі виконавчого органу. Важкі умови роботи оператора та його розташування відносно переднього виконавчого органу не дозволяють йому помітити початкову стадію процесу заштибовки, тому він фіксує значну заштибовку, коли об'єм циркулюючого вугілля займає 50 – 80% робочого об'єму виконавчого органу. Після цього він пригальмовує видобувний комбайн, різко або поступово зменшуючи швидкість подачі до певного значення, та очікує на розштибування виконавчого органу. Після видалення накопиченого вугілля й породи з робочого простору виконавчого органу, оператор знову збільшує швидкість подачі, але вже з меншою інтенсивністю.

Таким чином, відбувається періодичне прискорення та пригальмовування видобувного комбайна з метою запобігання значної заштибовки переднього виконавчого органу комбайна.

Такий алгоритм дій оператора щодо управління швидкістю подачі видобувного комбайна у ручному режимі в умовах обмеженої навантажувальної продуктивності виконавчих органів може бути закладений в основу бази правил для системи нечіткого управління комбайном, але з певною адаптацією з оглядом на можливість системи ідентифікувати процес заштибовки на більш ранній стадії, коли об'єм циркулюючого вугілля не перевищує 30-40% робочого об'єму виконавчого органу.

Розглянемо перевагу фіксації процесу заштибовки виконавчого органу видобувного комбайну на ранній стадії на основі удосконаленої статичної робочої характеристики видобувного комбайна УКД300, що працює в умовах пласта С₅ шахти «Павлоградська» Донецького басейну (рис.1).

Характеристика на рис.1 отримана за допомогою комплексної імітаційної моделі вугільного видобувного комбайна як складної мехатронної системи [2].

Особливість характеристики на рис.1 полягає в тому, що до критичної за заштибовкою виконавчого органу швидкості подачі (2,77 м/хв – точка А на рис.1) середні питомі енерговитрати комбайна залежать в основному від режиму різання матеріалу зубками та визначаються тільки швидкістю подачі комбайна, якщо на часовому інтервалі усереднення суттєво не змінюється опірність вугілля різанню. Середнє значення питомих енерговитрат комбайна для конкретних умов його роботи є незмінною величиною для певного значення швидкості подачі.

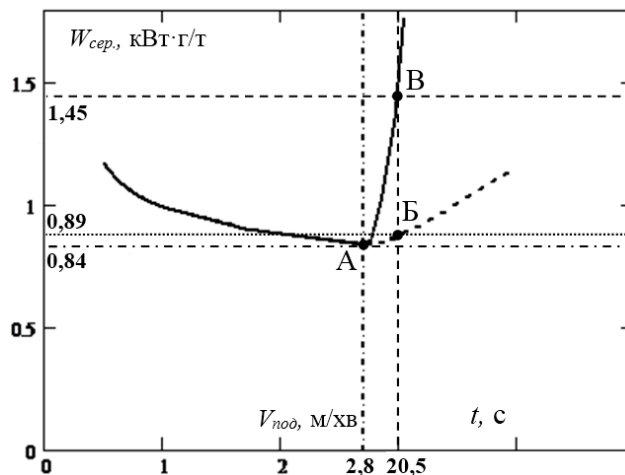


Рис. 1 Статична залежність питомих енерговитрат видобувного комбайна від середньої швидкості подачі (до точки А) та від часу усереднення питомих енерговитрат (після точки А)

Але після початку заштибовки виконавчого органу з кожним його обертанням у робочому просторі органу залишається все більше невивантаженої, надлишкової маси зруйнованого матеріалу, із-за чого збільшується тиск маси матеріалу на поверхні органу та, відповідно, збільшуються питомі енерговитрати

комбайна. Тобто, питомі енерговитрати комбайна починають збільшуватись з часом навіть за умови незмінної швидкості подачі. Тому на рис.1 права частина графіку (після точки А) представлена як залежність питомих енерговитрат від часу їх усереднення за умови незмінної швидкості подачі.

Оскільки в залежності від величини відхилення поточної середньої швидкості подачі від критичної швидкості подачі за заштибовкою маємо різний приріст циркулюючого об'єму зруйнованого матеріалу у робочому просторі органу, інтенсивність збільшення з часом середніх питомих енерговитрат також буде різною. Тому після початку заштибовки виконавчого органу треба розглядати не одну залежність питомих енерговитрат комбайну від часу їх усереднення, а сімейство таких залежностей – для кожної величини відхилення поточної середньої швидкості подачі від критичної швидкості подачі за заштибовкою буде своя залежність.

На рис.1 після точки А представлені дві залежності питомих енерговитрат комбайну від часу їх усереднення, що отримані за умови незмінної швидкості подачі 3,2 м/хв (суцільна лінія на рис.1) та незмінної швидкості подачі 2,9 м/хв (пунктирна лінія на рис.1). Після усереднення питомих енерговитрат комбайна протягом 20,5 с у першому випадку середні питомі енерговитрати становлять 1,45 кВт·г/т за умови об'єму циркулюючого матеріалу біля 80% від робочого об'єму виконавчого органу (точка В на рис.1), а у другому випадку – 0,89 кВт·г/т за умови об'єму циркулюючого матеріалу біля 30% від робочого об'єму виконавчого органу (точка Б на рис.1).

Перший випадок (суцільна лінія на рис.1) відображує управління швидкістю подачі комбайна оператором у ручному режимі, коли він помічає заштибовку виконавчого органу на пізній стадії. При цьому робота комбайна буде протікати з коливанням поточної швидкості подачі навколо критичного значення за заштибовкою з амплітудою приблизно 0,4 м/хв, та з середніми питомими енерговитратами 1,145 кВт·г/т, що на 36,3% більше, ніж за умови роботи комбайна з транспортуванням й навантаженням зруйнованого матеріалу без заштибовки виконавчого органу.

Другий випадок (пунктирна лінія на рис.1) відображує управління швидкістю подачі комбайна в автоматичному режимі з ідентифікацією режиму заштибовки виконавчого органу на ранній стадії. При цьому робота комбайна буде протікати з коливанням поточної швидкості подачі навколо критичного значення за заштибовкою з амплітудою приблизно 0,15 м/хв, та з середніми питомими енерговитратами 0,865 кВт·г/т, що на 3% більше, ніж за умови роботи комбайна з транспортуванням й навантаженням зруйнованого матеріалу без заштибовки виконавчого органу.

Отже, фіксування процесу заштибовки виконавчого органу на ранній стадії призведе до зменшення питомих енерговитрат видобувного комбайна приблизно на 33%. Тому за умови формування бази правил для системи нечіткого управління видобувним комбайном за навантажувальною продуктивністю виконавчих органів треба надавати більш високий пріоритет саме ідентифікації заштибовки органу на ранній стадії.

З оглядом на алгоритм дій оператора щодо управління швидкістю подачі видобувного комбайна у ручному режимі в умовах обмеженої навантажувальної продуктивності виконавчих органів та з урахуванням більш високого пріоритету ідентифікації процесу заштибовки на ранній стадії запропонований алгоритм прийняття рішень щодо зміни швидкості подачі для системи нечіткого управління комбайном у вигляді орієнтованого графу переходів (рис.2).

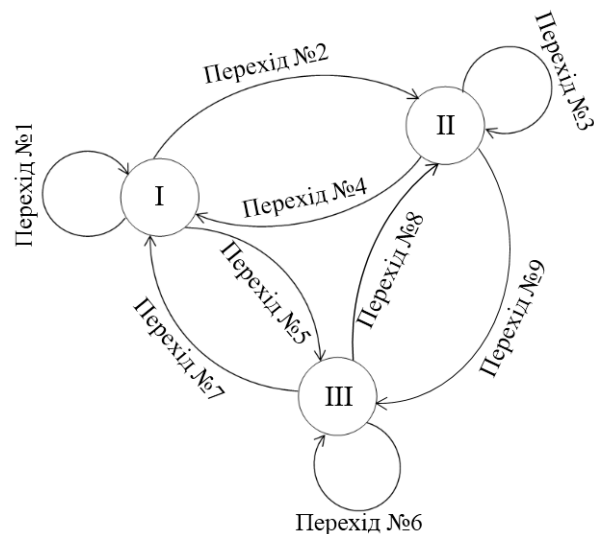


Рис. 2 Алгоритм прийняття рішень щодо зміни швидкості подачі для системи нечіткого автоматичного управління комбайном

Стан I системи на рис.2 відповідає режиму нормального транспортування й навантаження зруйнованого матеріалу виконавчим органом, стан II та III – режиму, відповідно, значної та незначної заштибовки виконавчого органу видобувного комбайна. Зазначимо, що між переходами із стану в стан на рис.2 існує часова затримка з метою проведення аналізу інформативного сигналу та оцінювання інформативних критеріїв, що визначають умови переходів.

Умовами переходів у запропонованому алгоритмі прийняття рішень щодо зміни швидкості подачі для системи нечіткого управління комбайном на рис.2 є як результати ідентифікації певних характеристик режиму роботи комбайна за умови стаціонарності статистичних характеристик інформативних критеріїв, так і результати ідентифікації переходів від однієї характеристики режиму роботи до іншої.

Перехід №1 на рис.2 є складним та містить дві частини, що розділені логічною операцією “АБО”. Умовами першої частини є відсутність зміни режиму роботи та перебування минулого разу у стані I. Дією першої частини переходу №1 є значне збільшення швидкості подачі комбайна. Умовами другої частини є перебування у стані I, відсутність зміни режимів роботи та перебування минулого разу у стані II або III. Дією другої частини переходу №1 є незначне збільшення швидкості подачі комбайна. Друга частина переходу №1 введена для забезпечення коливання швидкості подачі навколо критичного за заштибовкою значення з меншою амплітудою з фіксуванням заштибовки виконавчого органу на ранній стадії.

Умовами переходу №2 на рис.2 є перебування у стані I та зміна характеристик режиму роботи “нормальне навантаження → значна заштибовка”, а дією – значне зменшення швидкості подачі.

Перехід №3 на рис.2 здійснюється за умови перебування у стані II та відсутності зміни режиму роботи. При цьому відбувається значне зменшення швидкості подачі.

Перехід №4 відбувається за умови перебування у стані II та зміни характеристик режиму роботи “значна заштибовка → нормальне навантаження”. При цьому відбувається незначне збільшення швидкості подачі.

Умовами переходу №5 на рис.2 є перебування у стані I та зміна характеристик режиму роботи “нормальне навантаження → незначна заштибовка”, а дією – незначне зменшення швидкості подачі.

Перехід №6 на рис.2 здійснюється за умови перебування у стані III та відсутності зміни режиму роботи. При цьому відбувається незначне зменшення швидкості подачі.

Умовами переходу №7 на рис.2 є перебування у стані III та зміна характеристик режиму роботи “незначна заштибовка → нормальне навантаження”, а дією – незначне збільшення швидкості подачі.

Перехід №8 відбувається за умови перебування у стані III та зміни характеристик режиму роботи “незначна заштибовка → значна заштибовка”. При цьому відбувається значне зменшення швидкості подачі.

Умовами переходу №9 на рис.2 є перебування у стані II та зміна характеристик режиму роботи “значна заштибовка → незначна заштибовка”, а дією – незначне зменшення швидкості подачі.

Таким чином, розподіл процесу заштибовки на ранню та пізню стадії протікання з виділенням унікальних закономірностей зміни інформативного сигналу, що притаманні тільки певній стадії процесу заштибовки, дозволяє запропонувати більш енергоефективне та гнучке управління швидкістю подачі комбайна, коли рішення щодо величини зміни швидкості подачі приймається в залежності від того, на якій стадії наразі протікає заштибовка виконавчого органу, а також в залежності від попереднього режиму роботи комбайна. Відзначимо, що у запропонований алгоритм прийняття рішень щодо зміни швидкості подачі закладена закономірність зменшення інтенсивності збільшення швидкості подачі з наближенням до критичної за заштибовкою швидкості подачі з метою отримати перехід “нормальне навантаження → незначна заштибовка” замість переходу “нормальне навантаження → значна заштибовка”.

На основі запропонованого алгоритму прийняття рішень щодо зміни швидкості подачі комбайна сформуємо перелік правил нечітких продукцій, що складуть основу бази правил системи нечіткого управління комбайном. Для цього у контексті нечіткої логіки введемо наступні лінгвістичні нечіткі вислови стосовно умов правил нечітких продукцій (при цьому для спрощення у висловах під режимом роботи мається на увазі його характеристика):

- наразі перебуваємо у режимі нормального навантаження;
- до цього перебували у режимі нормального навантаження;
- наразі перебуваємо у режимі незначної заштибовки;
- до цього перебували у режимі незначної заштибовки;
- наразі перебуваємо у режимі значної заштибовки;
- до цього перебували у режимі значної заштибовки;
- зміна режимів роботи комбайна відсутня;
- ідентифіковано перехід від режиму нормального навантаження до режиму незначної заштибовки;
- ідентифіковано перехід від режиму незначної заштибовки до режиму нормального навантаження;
- ідентифіковано перехід від режиму нормального навантаження до режиму значної заштибовки;
- ідентифіковано перехід від режиму значної заштибовки до режиму нормального навантаження;
- ідентифіковано перехід від режиму незначної заштибовки до режиму значної заштибовки;

- ідентифіковано перехід від режиму значної заштибовки до режиму незначної заштибовки.
Також у контексті нечіткої логіки введемо наступні лінгвістичні нечіткі вислови стосовно висновків правил нечітких продукцій:

- відбувається незначне збільшення швидкості подачі видобувного комбайна;
- відбувається значне збільшення швидкості подачі комбайна;
- відбувається незначне зменшення швидкості подачі видобувного комбайна;
- відбувається значне зменшення швидкості подачі видобувного комбайна.

Перелік правил нечітких продукцій для системи нечіткого управління комбайном:

- ЯКЩО “зміна режимів роботи комбайна відсутня” ТА “до цього перебували у режимі нормального навантаження” ТО “відбувається значне збільшення швидкості видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “зміна режимів роботи комбайна відсутня” ТА “до цього перебували у режимі незначної заштибовки” ТА “наразі перебуваємо у режимі нормального навантаження” ТО “відбувається незначне збільшення швидкості видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “зміна режимів роботи комбайна відсутня” ТА “до цього перебували у режимі значної заштибовки” ТА “наразі перебуваємо у режимі нормального навантаження” ТО “відбувається незначне збільшення швидкості видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “наразі перебуваємо у режимі нормального навантаження” ТА “ідентифіковано перехід від режиму нормального навантаження до режиму значної заштибовки” ТО “відбувається значне зменшення швидкості подачі видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “наразі перебуваємо у режимі значної заштибовки” ТА “зміна режимів роботи комбайна відсутня” ТО “відбувається значне зменшення швидкості подачі видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “наразі перебуваємо у режимі значної заштибовки” ТА “ідентифіковано перехід від режиму значної заштибовки до режиму нормального навантаження” ТО “відбувається незначне збільшення швидкості подачі видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “наразі перебуваємо у режимі нормального навантаження” ТА “ідентифіковано перехід від режиму нормального навантаження до режиму незначної заштибовки” ТО “відбувається незначне зменшення швидкості подачі видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “наразі перебуваємо у режимі незначної заштибовки” ТА “зміна режимів роботи комбайна відсутня” ТО “відбувається незначне зменшення швидкості подачі видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “наразі перебуваємо у режимі незначної заштибовки” ТА “ідентифіковано перехід від режиму незначної заштибовки до режиму нормального навантаження” ТО “відбувається незначне збільшення швидкості подачі видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “наразі перебуваємо у режимі незначної заштибовки” ТА “ідентифіковано перехід від режиму незначної заштибовки до режиму значної заштибовки” ТО “відбувається значне зменшення швидкості подачі видобувного комбайна”;
- ЯКЩО “наразі перебуваємо у режимі значної заштибовки” ТА “ідентифіковано перехід від режиму значної заштибовки до режиму незначної заштибовки” ТО “відбувається незначне зменшення швидкості подачі видобувного комбайна”.

Висновки

Аналіз інформації щодо поведінки операторів видобувних комбайнів в реальних умовах їх експлуатації дозволив запропонувати алгоритм прийняття рішень щодо зміни швидкості подачі для системи нечіткого управління комбайном у вигляді переліку правил нечітких продукцій. При цьому за умови створення бази правил для системи нечіткого автоматичного керування видобувним комбайном за критерієм мінімальних питомих енерговитрат закладена закономірність зменшення інтенсивності збільшення швидкості подачі з наближенням до критичної за заштибовкою швидкості подачі з метою забезпечення енергоефективного режиму роботи комбайна за рахунок запобігання значної заштибовки робочого органу.

Список літератури

1. Стадник Н. И. 2013. Мехатронный подход при анализе движущихся горных комплексов / Н. И. Стадник // Энергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу. – 2013. – №1(19). – С. 91–98.
2. Бубліков А. В. Експертна система нечіткого автоматичного керування видобувним комбайном як частина мехатронної системи / А. В. Бубліков // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – Д. : НГУ, 2016. – Вип. 97. – С. 41 – 48.
3. Топорков А. А. Машинист горных выемочных машин / А. А. Топорков. – М. : Недра, 1991. – 334 с.
4. Казаков С. С. Справочник машиниста угледобывающих комплексов / С. С. Казаков, И. Л. Элькин. – Киев : Техника, 1989. – 165 с.
5. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с. – ISBN 5-94157-087-2

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