

А.В. Бубліков, Н.С. Прядко, К.В. Тернова, К.В. Соснін

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РЕЖИМУ РУЙНУВАННЯ ВУГІЛЬНОГО МАСИВУ ВИКОНАВЧИМ ОРГАНОМ ОЧИСНОГО КОМБАЙНА

Актуальність тематики даної роботи визначається необхідністю зменшення питомих енерговитрат на руйнування органом очисного комбайна вугільного масиву шляхом автоматизації процесу керування швидкістю обертання органу, що дозволить підтримувати енергоефективний режим різання різцями вугілля в умовах змінних гірничо-геологічних властивостей пласта. В роботі описано інформаційний критерій ідентифікації режимів руйнування органом вугільного пласта через статистичний аналіз активної потужності двигуна приводу різання, та проведені дослідження закономірності його зміни у часі для різних умов роботи комбайна. На основі цього ідентифікацію режимів руйнування органом вугільного пласта запропоновано здійснювати за допомогою переходу до відповідної лінгвістичної величини з використанням теорії нечіткої логіки. Обґрунтовані терми цієї лінгвістичної величини та визначені їх функції належності. Таким чином, створена база для подальшої розробки системи нечіткого автоматичного керування режимом руйнування органом вугільного пласта.

Ключові слова: ідентифікація, питомі енерговитрати, режим руйнування вугільного пласта, очисний комбайн.

Постановка проблеми. Сьогодні очисні комбайни нового покоління мають високорозвинену інформаційну компоненту [1], але її потенціал за умови вирішення проблеми автоматизації процесів керування комбайном майже не використовується. Єдиним параметром, яким наразі здійснюється автоматичне керування, є швидкість подачі комбайна [2]. Підтвердженням відсутності реалізації високого потенціалу сучасних гірничих машин, що мають високорозвинену інформаційну компоненту, є те, що 59% усіх очисних забоїв в Україні працюють з суттєво заниженою добовою продуктивністю менше 1000 тон вугілля [3,4]. Одною з основних причин цього є відсутність підходу щодо автоматизації процесів керування гірничими машинами на базі їх високорозвинених інформаційних компонент.

Наслідком відсутності вирішення проблеми автоматизації процесів керування комбайном є значне зменшення ефективності його роботи через людський фактор. Оператор з помічником вимушені постійно переміщуватися вздовж забою поруч з комбайном, й керувати ним у вкрай складних та небезпечних умовах. Крім того, на малих інтервалах часу оператори машин фізично не в змозі належним чином проаналізувати великий потік інформації від інформаційної компоненти і, отже, прийняти оптимальне рішення в умовах динамічно мінливих непередбачуваним чином ситуацій [5]. Підтвердженням цього є обґрунтування часу прийняття рішення оператором за умови значної кількості джерел інформації у роботі [6]. Також, оператор не в змозі проводити складний аналіз інформації й, таким чином, виявляти приховані закономірності в інформаційних сигналах, які допомагають поліпшити якість керування машиною.

Для очисних комбайнів сучасного покоління властиве складне конструктивне виконання, через що ці машини за умови їх аналізу розглядаються як сукупність окремих конструктивних вузлів, кожен з яких є повноцінним та складним механізмом, що виконує певну функцію у складі машини [7]. Одним з таких вузлів є підсистема приводу виконавчого органу, яка призначена для забезпечення обертального руху цього органу з необхідними швидкістю та руйнівним моментом.

Найближчим відомим рішенням проблеми автоматизації процесу керування швидкістю обертання виконавчого органу є принцип підпорядкованого керування швидкостями різання й подачі комбайна [2]. В цьому рішенні припускається, що оптимальна товщина стружки вугілля, що знімається різцями органу, яка відповідає мінімальним питомим енерговитратам на руйнування вугільного масиву, є незмінною у процесі роботи комбайна величиною, що залежить лише від конструктивних параметрів органу. Але, для верхнього виконавчого органу комбайна ця оптимальна товщина стружки є змінною величиною, оскільки зі зміною гіпсометрії пласта змінюється кут охоплення органом масиву вугілля й, відповідно, змінюється відношення швидкостей різання та подачі, при яких спостерігається енергоефективний режим руйнування органом масиву. Таким чином, необхідний новий підхід щодо автоматизації процесу керування швидкістю обертання верхнього виконавчого органу, який передбачає формування керуючого впливу на основі розпізнавання режимів руйнування органом масиву.

Мета роботи – визначення інформаційного критерію для розпізнавання режиму руйнування вугільного масиву виконавчим органом очисного комбайна.

У якості інструмента досліджень використовується комплексна імітаційна модель очисного комбайна як мехатронного агрегату, що описана у роботі [7], яка створена на основі відомих та апробованих математичних моделей, що описують процеси у різних конструктивних вузлах комбайна, та в яку закладені результати обробки експериментальних даних, отриманих при випробуванні очисного комбайна УКД300 в умовах пласта С₅ шахти «Павлоградська» Донецького басейну.

У роботі [8] обґрунтовані енергоефективний та неенергоефективний режими руйнування виконавчим органом вугільного масиву, та визначена індикативна подія, що дозволяє їх ідентифікувати. Цією подією є зміна виду різання різцями виконавчого органу очисного комбайну масиву вугілля й породи, внаслідок чого відбувається суттєва зміна характеру залежності середніх питомих енерговитрат на руйнування виконавчим органом масиву від товщини стружки. За умови настання енергетично неефективного виду різання різцями вугілля відбувається суттєве збільшення величини приросту середніх питомих енерговитрат на різання вугілля при зміні товщини стружки на певну величину.

Таким чином, для ідентифікації режимів руйнування органом вугільного масиву необхідно, по перше, дискретно у часі змінювати товщину стружки, а по друге – усереднювати питомі енерговитрати для кожного значення товщини стружки. Динаміка питомих енерговитрат на різання вугілля фактично повторює динаміку потужності двигуна приводу різання. Тож, з оглядом на інерційність зміни товщини стружки через інерційність приводів різання та подачі комбайна, у процесі усереднення повинні бути усунені високочастотна та середнь-частотна складові питомих енерговитрат.

Також, з оглядом на те, що прийняття рішення системою відбувається на короткому часовому інтервалі (декілька секунд), низькочастотна складова питомих енерговитрат на різання вугілля залишається. Це призводить до того, що залежність середніх питомих енерговитрат на різання вугілля від товщини стружки є нестационарною. За цією причиною ідентифікація режимів руйнування масиву виконавчим органом повинна проводитися за відносним показником, що характеризує ступінь зміни середніх питомих енерговитрат за умови зміни товщини стружки. При цьому для оцінювання ступеню зміни середніх

питомих енерговитрат на двох сусідніх часових інтервалах задається різною й незмінною товщиною стружки, що знімається різцем, та на кожному інтервалі окремо проводиться усереднення питомих енерговитрат. Якщо тривалість двох сусідніх часових інтервалів незначна (до 10 с), низькочастотна складова питомих енерговитрат практично не впливає на відносний показник, що характеризує ступінь зміни питомих енерговитрат за умови зміни товщини стружки.

З урахуванням зазначеної індикативної події, за якою відбувається ідентифікація режимів руйнування виконавчим органом масиву, та означених вище особливостей щодо фіксування цієї події за усередненими питомими енерговитратами, у якості інформаційного критерію пропонується відносний показник різниці питомих енерговитрат, що усереднені на коротких сусідніх часових інтервалах з завданням на кожному інтервалі різної товщини стружки:

$$INF_{CR} = \frac{H_{cp.1} - H_{cp.2}}{H_{cp.1}},$$

де $H_{cp.1}$ та $H_{cp.2}$ – питомі енерговитрати на різання масиву вугілля різцями, усереднені, відповідно, на першому та другому часових інтервалах, кВт·год/т.

За умови незмінності швидкості подачі на обох часових інтервалах усереднення питомих енерговитрат, та з урахуванням пропорційної залежності продуктивності комбайна від швидкості подачі, ступінь різниці між питомими енерговитратами на різання вугілля різцями, що визначені для різних швидкостей обертання виконавчого органу, можна оцінювати за ступенем різниці середніх потужностей:

$$INF_{CR} = \frac{P_{cp.1} - P_{cp.2}}{P_{cp.1}},$$

де $P_{cp.1}$ та $P_{cp.2}$ – потужність двигуна приводу різання очисного комбайна, усереднена, відповідно, на першому та другому часових інтервалах, кВт.

Обґрунтуємо величину зміни товщини стружки $\Delta h_{стр}$ для визначення індикативної події зміни характеристик режиму руйнування різцями масиву вугілля. Через неповне усунення впливу на середнє значення потужності високочастотної та середньочастотної складових чіткий інформаційний критерій буде змінюватись випадковим чином навіть за умови відсутності зміни режиму руйнування виконавчим органом масиву вугілля. На рис.1 наведені результати статистичної оцінки характеру розподілу значень чіткого інформаційного критерію за умови відсутності зміни режиму руйнування виконавчим органом комбайна масиву (взятий за основу енергоефективний режим) для різних ре-

жимів роботи очисного комбайна та гірничо-геологічних властивостей вугільного пласта.

З аналізу рис.1 можна зробити висновок, що незалежно від швидкості обертання виконавчого органу комбайна (товщини стружки, що знімається різцем) зі збільшенням опірності вугілля різанню ширина діапазону зміни значень чіткого інформаційного критерію також збільшується. З іншої сторони, збільшення швидкості обертання виконавчого органу очисного комбайна також призводить до збільшення ширини діапазону зміни значень чіткого інформаційного критерію.

Тож, можна зробити висновок, що самими несприятливими умовами, що призводять до максимального впливу високочастотної та середньо-частотної складових потужності на чіткий інформаційний критерій, є робота комбайна на вугільному пласті з найбільшою опірністю вугілля різанню та з максимальною швидкістю обертання виконавчого органу.

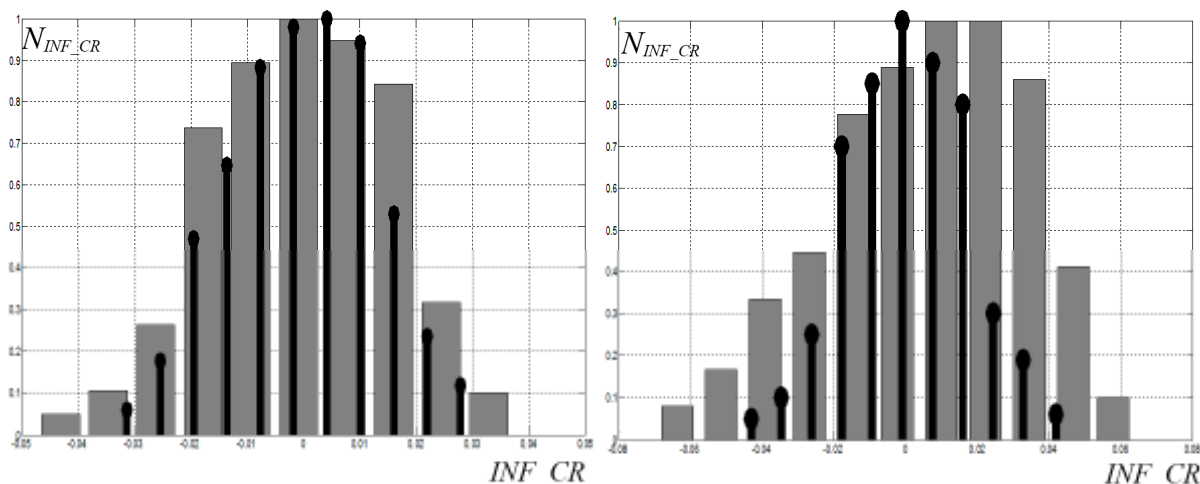


Рисунок 1 – Нормовані гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію для енергоефективного режиму при частоті обертання виконавчого органу: а – 60 об/хв; б – 110 об/хв (гістограми з широкими стовпцями та сірою заливкою – для опірності вугілля різанню 410 Н/мм, гістограми з вузькими стовпцями та чорною заливкою – для опірності вугілля різанню 120 Н/мм)

Таким чином, за основну характеристику, що визначає розподіл значень чіткого інформаційного критерію при енергоефективному режимі руйнування виконавчим органом масиву, візьмемо гістограму з сірою заливкою на рис.1,б, що відповідає найбільш несприятливим умовам з точки зору впливу на інформаційний критерій високочастотної та середньо-частотної складових потужності.

З аналізу гістограми з сірою заливкою на рис.1,б можна зробити висновок, що для фіксування з високим ступенем вірогідності індикативної події зміни режиму руйнування масиву виконавчим органом, показник відносної різності середньої потужності при зміні товщини стружки повинен бути не менше 0,065. Інакше вплив високочастотної та середньо-частотної складових потужності на інформаційний критерій буде у багатьох випадках призводити до помилкової ідентифікації зміни режиму руйнування масиву виконавчим органом.

Для обґрунтування величини зміни товщини стружки на другому інтервалі усереднення, що достатня для ідентифікації зміни режиму руйнування виконавчим органом масиву з високим ступенем вірогідності, проведена апроксимація експериментальної залежності питомих енерговитрат від товщини стружки на рис.4.25,а ступеневим поліномом високого порядку методом найменших квадратів. Результат апроксимації показаний на рис.2,а, на якому експериментальна залежність показана круглими маркерами, а графік апроксимуючої функції $F_H(h)$ – суцільною лінією.

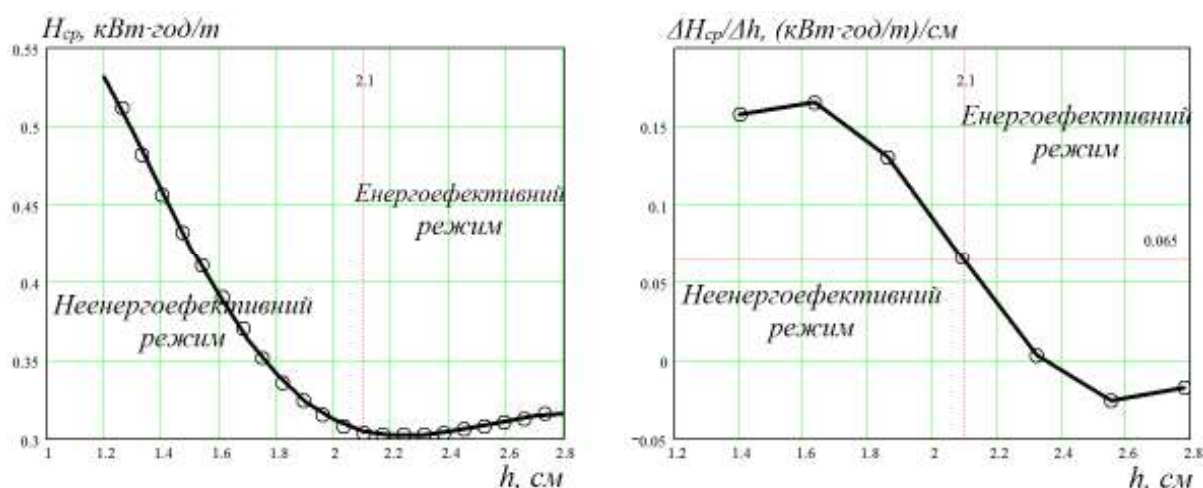


Рисунок 2 – Статична залежність від стружки вугілля: а – питомих енерговитрат на різання вугілля; б – величини зміни середніх питомих енерговитрат на різання вугілля при зміні товщини стружки (крок зміни товщини стружки 0,23 см)

Апроксимована залежність питомих енерговитрат, на відміну від експериментальної, дозволяє отримувати залежність відносного показника зміни питомих енерговитрат на різання вугілля від товщини стружки для будь-якого кроку зміни товщини стружки. Тож, на основі функції $F_H(h)$ було визначено такий крок зміни товщини стружки $\Delta h_{стр}$ ($\Delta h_{стр} = 0,23$ см), при якому виконувалася умова (рис.2,б):

$$\frac{F_H(2,1) - F_H(2,1 + \Delta h_{стр})}{F_H(2,1)} = 0,065 \quad (1)$$

У формулі (1) значення товщини стружки 2,1 см, поблизу якого забезпечується відносний показник зміни питомих енерговитрат на різання вугілля на рівні 0,065, відповідає межі між енергоефективним та неенергоефективним режимами руйнування масиву виконавчим органом комбайна.

Таким чином, можна зробити висновок, що для ідентифікації з високим ступенем вірогідності зміни енергоефективного режиму руйнування виконавчим органом масиву на неенергоефективний товщина стружки на першому та другому інтервалах усереднення потужності двигуна приводу різання повинна різнитися на 0,23 см.

За умови забезпечення зміни товщини стружки на 0,23 см за рахунок зміни швидкості обертання виконавчого органу формула для розрахунку величини зміни швидкості обертання виконавчого органу на другому часовому інтервалі буде наступною:

$$\Delta n_{об} = n_{об.1} - \frac{50 \cdot V_n \cdot n_{об.1}}{n_{об.1} \cdot \Delta h_{стр} + V_n \cdot 50}, \text{ об/хв,}$$

де $n_{об.1}$ – швидкість обертання виконавчого органу комбайна на першому часовому інтервалі усереднення потужності двигуна приводу різання, об/хв; V_n – швидкість подачі очисного комбайна, м/хв; $\Delta h_{стр}$ – різниця товщин стружки, що знімається різцем, на першому та другому сусідніх часових інтервалах усереднення потужності, см.

Дослідження закономірності зміни інформаційного критерію показали, що за умови протікання обох режимів руйнування органом вугільного масиву він є випадковою величиною, що змінюється у різних діапазонах зміни значень (рис.1, рис.4). З урахуванням цього, цей критерій можна використати для переходу до лінгвістичної величини «Режим руйнування вугільного масиву органом комбайна», та на основі цієї величини формувати керуючий вплив щодо зміни режимів роботи комбайна на основі алгоритмів нечіткого виводу. Для цього для зазначеної лінгвістичної величини введемо терми «Енергоефективний» та «Неенергоефективний» та визначимо відповідні функції належності.

Функція належності для терму “Енергоефективний режим руйнування масиву різцями” визначається на основі гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію для енергоефективного режиму, що відповідає най-

більш несприятливим умовам з точки зору впливу на інформаційний критерій високочастотної та середньо-частотної складових потужності (гістограма з сірою заливкою на рис.1,б).

Усі від’ємні значення чіткого інформаційного критерію мають однаковий смисл та говорять про протікання енергоефективного режиму руйнування масиву виконавчим органом комбайна (перебування правіше мінімального екстремуму графіку на рис.2,а). Тож, проведемо апроксимацію лише правої частини гістограми з сірою заливкою на рис.1,б за її трьома останніми частотами. Результат апроксимації гістограми показаний на рис.3,а.

Аналіз рис.3,а показує, що з достатньою точністю права частина гістограми апроксимується лінійним рівнянням. При цьому на значимому інтервалі діапазону зміни інформаційного критерію, коли ступінь належності терму більше 0,2, відносна похибка не перевищує 9% (рис.3,б). Суттєва похибка більше 10% після значення критерію 0,05 за віссю абсцис на рис.3,б пояснюється невеликими значеннями функції належності. Але зазначимо, що з точки зору логіки нечіткого керування розбіжності ступеню належності на 0,017 у діапазоні значень функції належності до 0,2 суттєвого впливу на алгоритм прийняття рішень не мають.

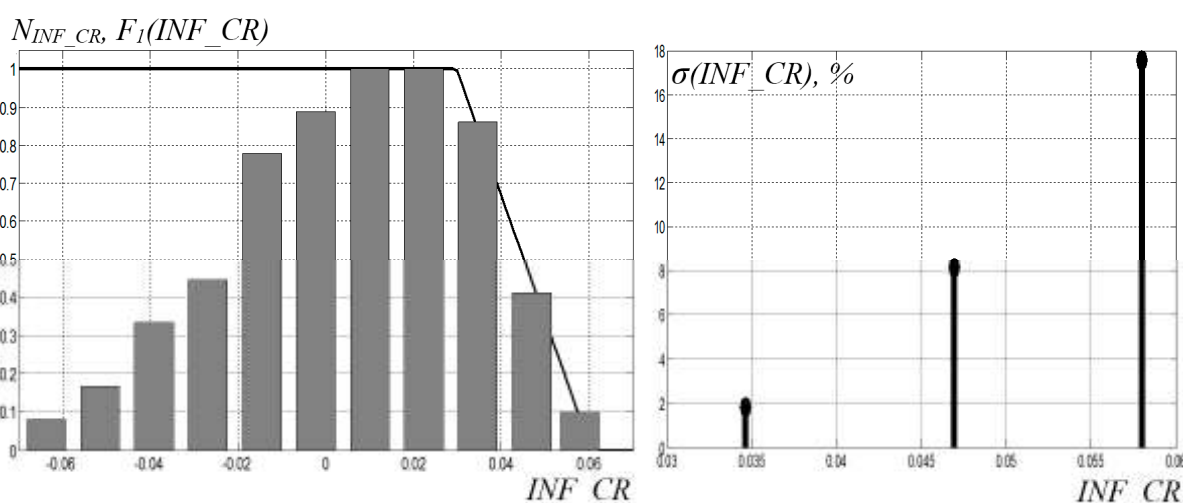


Рисунок 3 – Результат визначення функції належності для терму «Енергоефективний режим різання» за запропонованим інформаційним критерієм (а) та похибки апроксимації гістограми вибірки значень інформаційного критерію (б)

З урахуванням результату апроксимації на рис.3,а, а також прийняття однакового смислу від’ємних значень чіткого інформаційного критерію (проти-

кання енергоефективного режиму) функція належності для терму “Енергоефективний режим руйнування масиву різцями” буде мати вигляд:

$$F_1(INF_CR) = \begin{cases} 1 & \text{if } INF_CR < 0,029; \\ f_1(INF_CR) & \text{if } 0,029 \leq INF_CR \leq 0,061; \\ 0 & \text{if } INF_CR > 0,061. \end{cases}$$

де $f_1(INF_CR)$ – функція, що апроксимує праву частину гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію при енергоефективному режимі руйнування масиву виконавчим органом комбайна:

$$f_1(INF_CR) = -32,6035 \cdot INF_CR + 1,9734$$

Для визначення функції належності для терму “Неенергоефективний режим руйнування масиву різцями” проведемо статистичну оцінку характеру розподілу значень чіткого інформаційного критерію за умови протікання неенергоефективного режиму руйнування виконавчим органом масиву для різних режимів роботи очисного комбайна та гірничо-геологічних властивостей вугільного пласта (рис.4).

Аналіз рис.4 показує, що незалежно від швидкості переміщення очисного комбайна відносний показник різності середніх потужностей на сусідніх часових інтервалах з різною товщиною стружки зменшується за умови зменшення опірності вугілля різанню. З іншої сторони, цей показник зменшується, але з набагато меншою інтенсивністю, зі зменшенням швидкості переміщення очисного комбайна.

Таким чином, можна зробити висновок, що найбільш несприятливими умовами для ідентифікації з високим ступенем вірогідності неенергоефективного режиму руйнування масиву виконавчим органом, при яких показник різності середніх потужностей на сусідніх часових інтервалах з різною товщиною має мінімальні значення, є переміщення очисного комбайна з незначною швидкістю на вугільному пласті з незначною опірністю вугілля різанню. Цим умовам відповідає гістограма з сірою заливкою на рис.4,б. Тож, приймемо цю гістограму за основу при визначенні функції належності для терму “Неенергоефективний режим руйнування масиву різцями”.

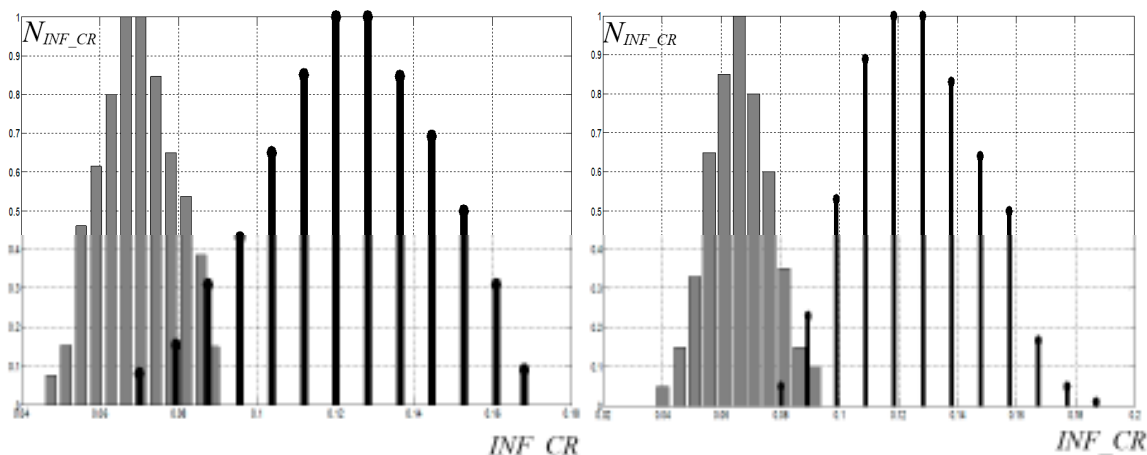


Рисунок 4 – Нормовані гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію для неенергоефективного режиму руйнування масиву виконавчим органом при швидкості подачі: а – 2,8 м/хв; б – 2 м/хв (гістограми з широкими стовпцями та сірою заливкою – для опірності вугілля різанню 120 Н/мм, гістограми з вузькими стовпцями та чорною заливкою – для опірності вугілля різанню 410 Н/мм)

Усі значення чіткого інформаційного критерію, що більше значення 0,065, мають однаковий смисл та говорять про протікання неенергоефективного режиму руйнування масиву виконавчим органом комбайна. Тож, проведемо апроксимацію лише лівої частини гістограми з сірою заливкою на рис.4,б за її шістьма першими частотами. Результат апроксимації гістограми показаний на рис.5,а.

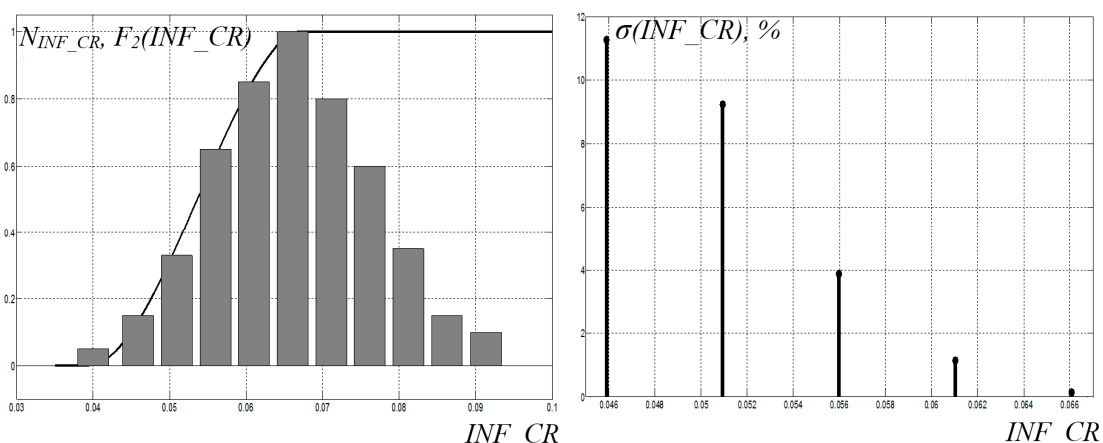


Рисунок 5 – Результат визначення функції належності для терму «Неенергоефективний режим різання» за запропонованим інформаційним критерієм (а) та похибки апроксимації гістограми вибірки значень інформаційного критерію (б)

Аналіз рис.5,а показує, що з достатньою точністю ліва частина гістограми апроксимується ступеневим поліномом третього порядку. При цьому на значимому інтервалі діапазону зміни інформаційного критерію, коли ступінь належності терму більше 0,2, відносна похибка не перевищує 10% (рис.5,б). Суттєва похибка більше 10% до значення критерію 0,05 за віссю абсцис на рис.5,б пояснюється невеликими значеннями функції належності. Але зазначимо, що з точки зору логіки нечіткого керування розбіжності ступеню належності на 0,02 у діапазоні значень функції належності до 0,2 суттєвого впливу на алгоритм прийняття рішень не мають.

З урахуванням результату апроксимації на рис.5,а, а також прийняття однакового смислу значень чіткого інформаційного критерію, що більше значення 0,065, (протікання неенергоєфективного режиму) функція належності для терму “Неенергоєфективний режим руйнування масиву різцями” буде мати наступний вигляд:

$$F_2(INF_CR) = \begin{cases} 0 & \text{if } INF_CR < 0,04; \\ f_2(INF_CR) & \text{if } 0,04 \leq INF_CR \leq 0,066; \\ 1 & \text{if } INF_CR > 0,066. \end{cases}$$

де $f_2(INF_CR)$ – функція, що апроксимує ліву частину гістограми розподілу значень чіткого інформаційного критерію при неенергоєфективному режимі руйнування масиву виконавчим органом комбайна:

$$f_2(INF_CR) = -8,61 \cdot 10^4 \cdot INF_CR^3 + 1,39 \cdot 10^4 \cdot INF_CR^2 - 6,94 \cdot 10^2 \cdot INF_CR + 11,037$$

Висновки. За умови зміни режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом очисного комбайна при незмінній швидкості подачі відбувається суттєве зміщення діапазону зміни середнього значення високочастотної та середньо-частотної складових потужності двигуна приводу різання. Це дозволило за чіткий інформаційний критерій характеристик режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна прийняти відносний показник різності потужностей двигуна приводу різання, що усереднені на двох сусідніх часових інтервалах тривалістю 2,65 с з різною товщиною стружки. Аналіз ступеню відмінності середніх потужностей на двох коротких часових інтервалах, сумарна тривалість яких менше 10 с, дозволяє запобігти впливу на інформаційний критерій низькочастотної складової потужності двигуна приводу різання.

Встановлено, що для фіксування з високим ступенем вірогідності зміни режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом комбайна на основі відносного показника різності потужностей двигуна приводу різання, що усе-

реднені на двох сусідніх часових інтервалах тривалістю 2,65 с, товщина стружки на часових інтервалах усереднення потужності повинна відрізнятись на 0,23 см.

На основі аналізу гістограм розподілу значень чіткого інформаційного критерію для різних гірничо-геологічних умов вугільних пластів та режимів роботи очисного комбайна для ідентифікації характеристик режиму руйнування масиву вугілля виконавчим органом на основі нечіткої логіки при фазифікації інформаційного критерію запропоновано використовувати Z та S-подібні функції належності термів «Енергоефективний» та «Неенергоефективний» лінгвістичної величини «Режим руйнування вугільного масиву органом комбайна». Оскільки характер розподілу значень інформаційного критерію є різним в залежності від умов та режимів роботи комбайна, у якості функцій належності використовуються функції, що визначені у результаті апроксимації гістограм розподілу значень чіткого інформаційного критерію для найбільш несприятливих умов з точки зору використання критерію.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Горбатов П.А., Косарев В.В., Стадник Н.И. Концептуальная характеристика сложных горных машин как мехатронных систем / П. А. Горбатов, В. В. Косарев, Н.И. Стадник // Наукові праці ДонНТУ. — Донецьк: ДонНТУ, 2006. — Вип. 104. — С. 53—61.
2. Использование имитационного моделирования для исследования системы автоматического управления добычным комбайном: монография / В.В. Ткачев, А.В. Бубликов. — Днепр: Национальный горный университет, 2015. — 182 с.
3. Николаев П.П. Исследование области рациональной эксплуатации очистного оборудования на шахтах Донбасса с помощью теории графов и программы STATISTICA / П.П. Николаев // материалы международной научно-практической конференции «Форумгорняков 2012». — Днепропетровск. — 2012. — НГУ — С 56 – 60.
4. Николаев П.П. Алгоритмы оптимизации сетевых моделей для выбора рациональных технологических цепочек очистного оборудования / П.П. Николаев, В.Г. Гринев // материалы международной научно-практической конференции «Форумгорняков 2013». — Днепропетровск. — 2013. — НГУ—С 90 – 95. URL: https://www.researchgate.net/publication/331496677_Algoritmy_optimizacii_setevyh_modelej_dla_vybora_racionalnyh_tehnologiceskih_cepoczek_ocistnogo_oborudovania

5. Danellie Lynas & Tim Horberry. (2011). Human Factor Issues with Automated Mining Equipment. The Ergonomics Open Journal, 4, 74-80. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/ff77/5e77eaebc8f657b81b9cd1f480b9aab1d285.pdf>

6. Панихидников С.А. Оценка подсистемы «человек-машина» (машинист горно-выемочных машин – очистной комбайн) в границах очистного забоя угольной шахты – один из методических элементов оценки системы промышленной безопасности угольной шахты / С.А. Панихидников, С.В. Новоселов, А.В. Куликович // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 10. – С. 227–233.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-podsistemy-chelovek-mashina-mashinist-gorno-vyemochnyh-mashin-ochistnoy-kombayn-v-granitsah-ochistnogo-zaboaya-ugolnoy-shahty>

7. 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.

8. Бубліков А.В. Створення баз правил для систем нечіткого автоматичного керування режимами роботи видобувного комбайна / А.В. Бубліков // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – Д. : НГУ, 2019. – Вип. 101. – С. 43 – 50.

REFERENCES

1. Gorbatov P.A., Kosarev V.V., Stadnik N.I. Kontseptualnaya harakteristika slozhnyih gorniy mashin kak mehatronnyih sistem / P.A. Gorbatov, V.V. Kosarev, N.I. Stadnik//NaukovI pratsI DonNTU.—Donetsk:DonNTU,2006—Vip.104.—S.53—61.
2. Ispolzovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya issledovaniya sistemyi avtomaticheskogo upravleniya dobyichnyim kombaynom: monografiya / V.V. Tkachev, A.V. Bublikov. – Dnep: Natsionalnyiy gorniy universitet, 2015. – 182 s.
3. Nikolaev P.P. Issledovanie oblasti ratsionalnoy ekspluatatsii ochistnogo oborudovaniya na shahtah Donbassa s pomoschyu teorii grafov i programmyi STATISTICA / P.P. Nikolaev // materialyi mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Forumgorniyakov 2012». – Dnepropetrovsk. – 2012. – NGU – S 56 – 60.
4. Nikolaev P.P. Algoritmyi optimizatsii setevyih modeley dlya vyibora ratsionalnyih tehnologicheskikh tsepochk ochistnogo oborudovaniya / P.P. Nikolaev, V.G. Grinev // materialyi mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Forumgorniyakov 2013». – Dnepropetrovsk. – 2013. – NGU – S 90 – 95.

5. Danellie Lynas & Tim Horberry. (2011). Human Factor Issues with Automated Mining Equipment. The Ergonomics Open Journal, 4, 74-80. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/ff77/5e77eaebc8f657b81b9cd1f480b9aab1d285.pdf>
6. Panihidnikov S.A. Otsenka podsistemyi «chelovek-mashina» (mashinist gornovyiemochnyih mashin - ochistnoy kombayn) v granitsah ochistnogo zaboya ugolnoy shahtyi - odin iz metodicheskikh elementov otsenki sistemyi promyshlennoy bezopasnosti ugolnoy shahtyi / S.A. Panihidnikov, S.V. Novoselov, A.V. Kulinkovich // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. - 2018. - № 10. - S. 227–233.
7. Bublikov A.V. Ekspertna systema nechitkoho avtomatychnoho keruvannia vydobuvnym kombainom yak chastyna mekhatronnoi systemy / A.V. Bublikov // Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka : nauk.-tekhn. zb. – D. : NHU, 2016. – Vyp. 97. – S. 41 – 48.
8. Bublikov A.V. Stvorennia baz pravyl dlia system nechitkoho avtomatychnoho keruvannia rezhymamy roboty vydobuvnoho kombaina /A.V. Bublikov//Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka:nauk.-tekhn zb.–D.:NHU,2019.–Vyp.101.–S.43–50.

Received 15.04.2021.

Accepted 17.04.2021.

**Идентификация режима разрушения угольного массива
исполнительным органом очистного комбайна**

Актуальность тематики данной работы определяется необходимостью уменьшения удельных энергозатрат на разрушение угольного массива органом очистного комбайна путем автоматизации процесса управления скоростью вращения органа, что позволит поддерживать энергоэффективный режим резания угля резаками в условиях изменчивых горно-геологических свойств пласта. В работе описан информационный критерий идентификации режимов разрушения угольного пласта органом через статистический анализ активной мощности двигателя привода резания, и проведены исследования закономерности его изменения во времени для различных условий работы комбайна. На основе этого идентификацию режимов разрушения угольного пласта органом предложено осуществлять с помощью перехода к соответствующей лингвистической величине с использованием теории нечеткой логики. Обоснованы термы этой лингвистической величины, и определены их функции принадлежности. Таким образом, создана база для дальнейшей разработки системы нечеткого автоматического управления режимом разрушения угольного пласта органом очистного комбайна.

The identification of mode of coal seam cutting by shearer's drum

The relevance of this work theme is determined by the need to reduce the specific energy consumption for the destruction of the coal seam by the shearer's drum by automating the process of controlling the rotation speed of the drum, which allows to maintain an energy-efficient mode of coal cutting with cutters under conditions of changing of seam mining and geological properties. In the paper the information criterion for identifying the modes of destruction of a coal seam by a drum through a statistical analysis of the active power of the cutting drive engine is described. Also, the regularities of change over time of this criterion for various operating conditions of the combine are investigated. On the basis of this, it is proposed to identify the modes

of destruction of a coal seam by a drum by means of a transition to the corresponding linguistic value using the theory of fuzzy logic. The terms of this linguistic value have been substantiated, and their membership functions have been determined. Thus, a basis has been created for the further development of fuzzy automatic control system of the destruction mode of a coal seam by a shearer's drum.

Прядко Наталія Сергіївна – провідний науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, д.т.н., с.н.с.

Бубликов Андрій Вікторович – професор кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», д.т.н., доцент;

Тернова Катерина Віталіївна – ст. науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, к.т.н.;

Соснін Костянтин Володимирович – доцент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н., доцент.

Прядко Наталия Сергеевна – ведущий научный сотрудник, Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины, д.т.н., с.н.с.;

Бубликов Андрей Викторович – профессор кафедры киберфизических и информационно-измерительных систем, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», д.т.н., доцент;

Терновая Екатерина Витальевна – научный сотрудник, Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины, к.т.н.;

Соснин Константин Владимирович – доцент кафедры киберфизических и информационно-измерительных систем, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», к.т.н., доцент.

Priadko Nataliia Serhiivna – Leading Researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Doctor of Technical Sciences.

Bublikov Andrii Viktorovych – Professor of Department of Cyberphysical and Information-measuring Systems, Dnipro University of Technology, Doctor of Technical Sciences.

Ternova Kateryna Vitaliivna - Researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, PhD.

Sosnin Kostiantyn Volodymyrovych – Associate Professor of Department of Cyberphysical and Information-measuring Systems, Dnipro University of Technology, Candidate of Technical Sciences.