

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОЛОТКОВОЇ КОРМОДРОБАРКИ

*Кошкін Д.Л., кандидат технічних наук,  
Миколаївський національний аграрний університет*

*Стаття присвячена питанню впровадження енергоефективних технологій в сільському господарстві. З метою покращення енергетичних показників технологічного процесу дроблення запропоновано використання системи екстремального керування електроприводом дробарки з кроковим пошуком екстремуму по двох координатах: швидкість обертання робочого органу дробарки та подача матеріалу. Наведені структурна та функціональна схеми системи керування, розглянуті алгоритми роботи.*

**Ключові слова:** *кормодробарка, керований електропривод, система екстремального керування.*

*Статья посвящена вопросу внедрения энергоэффективных технологий в сельском хозяйстве. Для улучшения энергетических показателей технологического процесса дробления предлагается применение системы экстремального управления электроприводом дробилки с шаговым поиском экстремума по двум координатам: скорость вращения рабочего органа дробилки и подача материала. Приведены структурная и функциональная схемы системы управления, рассмотрены алгоритмы работы.*

**Ключевые слова:** *кормодробилка, управляемый электропривод, система экстремального управления.*

**Постановка проблеми.** Кормоприготування в сільськогосподарському виробництві відноситься до енергоємних технологічних процесів. Операція подрібнення є основною при готуванні комбікормів, в процесі якої подрібнюється зерно, стеблові соковиті і грубі корми, коренеплоди тощо. Кількість енергії, необхідна для подрібнення якого-небудь матеріалу до певних розмірів, залежить від багатьох факторів: розміру, вологості, форми, взаємного розташування часток, міцності, крихкості, однорідності вхідного матеріалу, виду і стану робочих поверхонь машини. Тому встановлення аналітичної залежності між витратою енергії на здрібнювання, фізико-механічними властивостями матеріалу, що подрібнюється, і результатом процесу можливе лише в загальному виді. В такому випадку, при проектуванні керованого електроприводу дробарки є доцільним використання адаптивних систем екстремального керування (СЕК), які використовують пошукові методи для настроювання системи на оптимальний режим роботи за певним критерієм, наприклад за енергетичними показниками процесу.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідженням адаптивних екстремальних електроприводів займалися як вітчизняні С.М. Меєрков, І.Я. Браславський, Р.Т. Шрейнер, В.Н. Поляков [2, 5], так і закордонні вчені К. J. Astrom, В. Wittenmark, Wang, М. Krstic [7, 9]. В оглядовій роботі У. Тан і співавторів [9] виконана систематизація знань по екстремальним

електроприводам і наведені результати останніх досліджень, що засвідчують перспективність використання таких електроприводів та визначають цей напрям як один з багатообіцяльних в розвитку адаптивних систем керування.

Дослідження Андропова А. Л. [1] та публікація Р. Hofer [8] показують можливості підвищення енергоефективності технологічних процесів в сільському господарстві за допомогою екстремальних електроприводів. Однак досі недостатньо уваги приділено питанню застосування адаптивних СЕК електроприводом молоткової дробарки.

Мета дослідження. Пропонується для керування автоматизованим електроприводом дробарки використати систему екстремального керування з кроковим пошуком екстремуму за критерієм енергоефективності процесу дроблення по двох координатах: швидкість обертання робочого органу дробарки  $\omega$  та подача матеріалу  $Q$ .

**Викладення основного матеріалу.** Енергетичні характеристики кормоприготувальних подрібнювальних машин оцінюються питомою витратою енергії на одиницю маси готової продукції або енергоємністю  $W_{\text{пит}}$ . Як показують дослідження, залежності енергоємності процесу подрібнення в молотковій дробарці від швидкості обертання та від подачі матеріалу (рис. 1) мають явно виражений екстремальний характер [3].

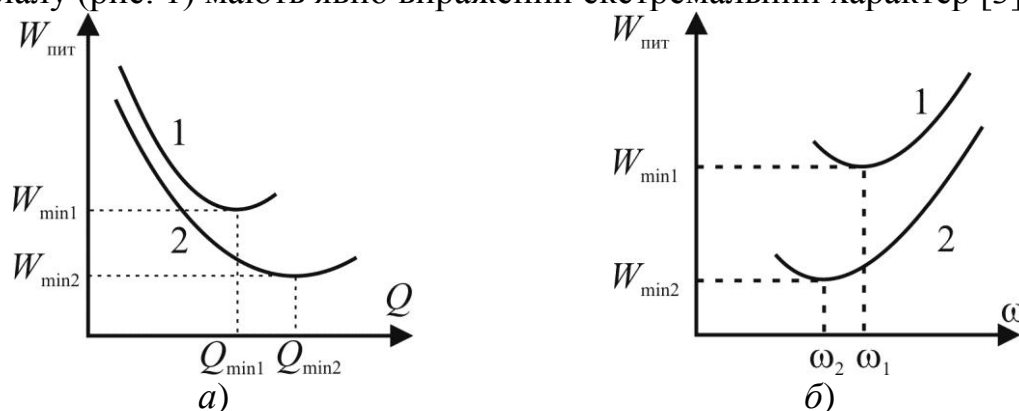


Рис. 1. Залежності питомої енергоємності подрібнення від подачі продукту (а) та від швидкості обертання дробарки (б): 1 – більш жорсткий продукт; 2 – менш жорсткий продукт

Електропривод молоткових дробарок здебільшого будується на базі короткозамкнених асинхронних двигунів, тому очевидним напрямком розвитку представляється використання регульованих електроприводів в приводних механізмах, оскільки енергетична оптимізація технологічного процесу дроблення приводить до необхідності регулювання подачі сировини та швидкості робочих органів.

Електродвигун приводу робочих органів дробарок повинен мати досить жорсткі механічні характеристики, значну перевантажувальну здатність (до трьох і більше), гарні пускові властивості, можливість економічного регулювання швидкості з діапазоном  $D = 2 \div 3$ .

Зазначеним вимогам найбільшою мірою відповідає автоматизований частотно-регульований асинхронний електропривод, що працює в режимі стабілізації швидкості. При цьому вирішуються питання пуску, перевантажувальної здатності і плавного регулювання швидкості [6].

Зниження енергоємності продукції також вимагає регулювання подачі, що досягається впровадженням систем керування завантаженням. Найбільш ефективно це реалізується в замкненій системі керування.

Для задовільнення всіх наведених вище вимог пропонується наступна структура СЕК електроприводом молоткової дробарки (рис. 2), яка складається з крокової екстремальної системи керування, що обчислює енергетичний показник – питому енергоємність процесу, та двох контурів регулювання подачі  $Q$  та кутової швидкості обертання  $\omega$ .

У локальних контурах стабілізації значень подачі  $Q$  та кутової швидкості обертання  $\omega$ , для керування виконавчими механізмами використовуються ПД-регулятори. Завдання по кутовій швидкості обертання і подачі матеріалу формуються в двоканальному кроковому екстремальному регуляторі.

Особливістю запропонованої системи екстремального керування є інтелектуальна надбудова, яка, використовуючи статистичні дані, що знімаються з об'єкта керування в процесі функціонування, може визначати найбільш оптимальний режим роботи дробарки і коректувати роботу системи у випадку відходу від екстремального режиму.

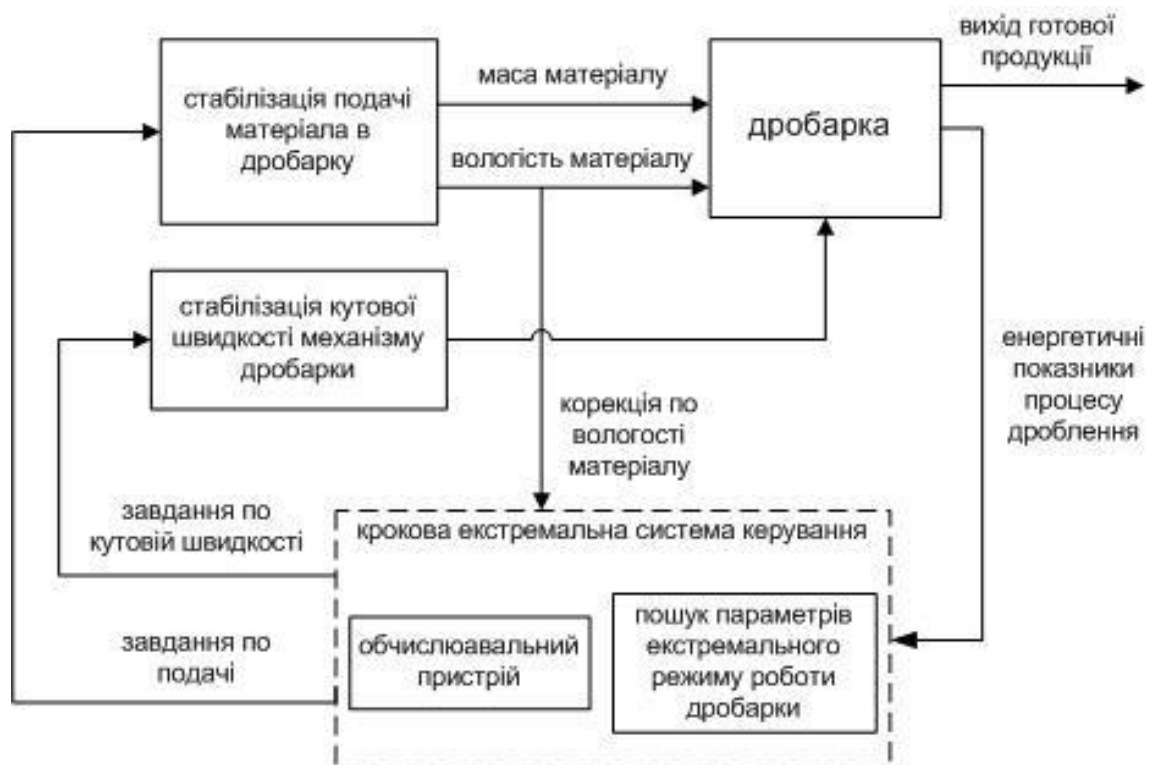


Рис. 2. Функціональна схема СЕК процесом дроблення

Робота інтелектуальної надбудови крокової екстремальної системи керування, за своїм змістом, нагадує проведення активного експерименту.

Використовуються дані функціонування СЕК для створення бази даних станів, в яких може перебувати об'єкт, з урахуванням вхідного сигналу вологості сировини для корегування «оптимальних поверхонь». Під станом об'єкту або «оптимальною поверхнею» розуміється сукупність вхідного сигналу, що складається зі швидкості обертання робочого органу дробарки та подачі матеріалу, і відповідного йому вихідного сигналу – показника енергоємності процесу.

В ході дослідження була розроблена імітаційна модель СЕК електроприводом дробарки на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором з живленням від частотного перетворювача (рис. 3). Для визначення показника енергоефективності технологічного процесу дроблення на вхід системи керування подаються сигнали подачі вхідного продукту та корисної потужності електродвигуна. Останній обчислюється наступним чином: в блоці множення (квадратор) сигнал датчика напруги збільшується квадратично; далі помножений сигнал напруги надходить на блок множення з постійним коефіцієнтом  $k$ , де відбувається множення квадратичного сигналу  $U^2$  напруги на коефіцієнт  $k$ , а в наступному блоці множення на вихідний сигнал датчика швидкості  $\omega$ .

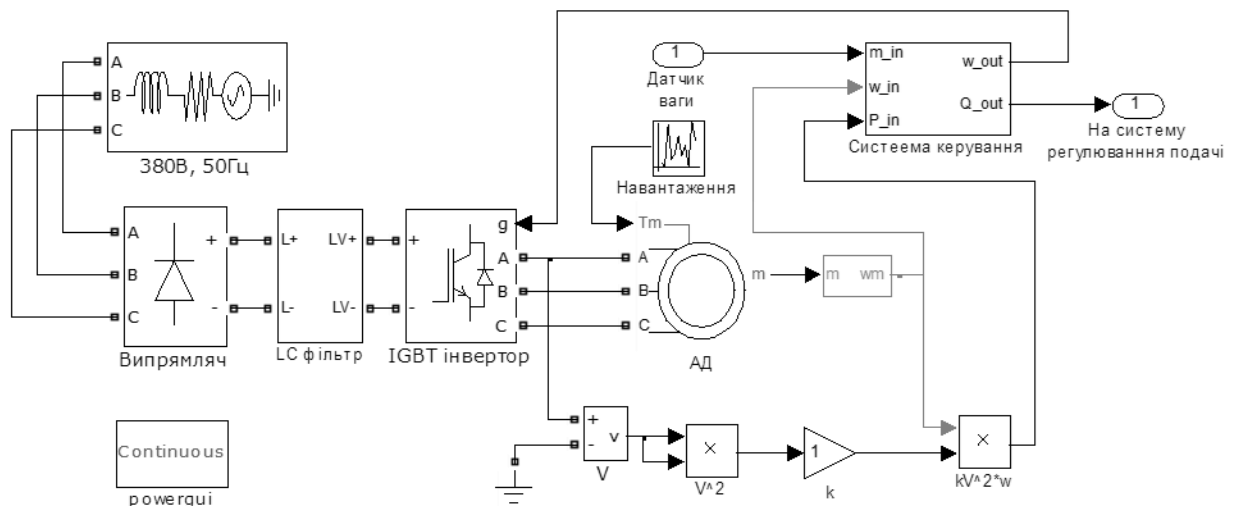


Рис. 3. Імітаційна Matlab/Simulink-модель СЕК електроприводом дробарки

Система керування обчислює показник енергоємності процесу, та його похідну, яка дозволяє здійснювати пошуковий процес для підтримки мінімуму втрат при зміні подачі продукту і частоти обертання робочого органу дробарки. Значення похідної може мати різнополярні значення в залежності від величини навантаження. При зміні навантаження на валу двигуна від нуля до номінального знак сигналу позитивний, а при збільшенні навантаження вище номінального – негативний.

**Висновки.** 1. Внаслідок використання СЕК електроприводом молоткової дробарки мінімізуються втрати електричної енергії в технологічному процесі дроблення в залежності від навантаження на валу

двигуна і підвищується енергоефективність всього процесу. 2. Використання статистичної інформації в інтелектуальній надбудові СЕК електроприводом дробарки дозволяє прискорити процес виходу системи на екстремальний режим роботи. Наступні дослідження будуть присвячені більш детальній розробці структури та алгоритмів роботи пошукової системи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Андронов А.Л. Обоснование энергоэффективных режимов частотно-регулируемых электроприводов в агропромышленном комплексе : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.02 / А.Л. Андронов: Алт. гос. техн. ун-т. им. И.И. Ползунова, Барнаул, 2005.-24 с.
2. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 256 с.
3. Епифанов А.П. Электропривод в сельском хозяйстве: Учебное пособие / Епифанов А.П., Гуцинский А.Г., Малайчук Л.М. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 224 с.
4. Пат. 2069032 Российская Федерация, МКП Н02Р7/36. Асинхронный электропривод с экстремальным управлением / Хашимов А.А. Имамназаров А.Т.; Сабиров Ш.М., заявитель Ташкентский технический государственный университет им. А.Р. Бируни., патентообладатель Хашимов А.А. - № 5037926/07; заявл. 16.04.1992; опубл. 10.11.1996.
5. Поляков В.Н. Экстремальное управление электрическими двигателями / В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер; под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Т. Шрейнера. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 420 с.
6. Терехов В. М. Современные способы управления и их применение в электроприводе / В.М. Терехов // Электротехника. 2000. - № 2. - С. 25-28.
7. Astrom K.J. Adaptive control (2nd ed.) / K.J. Astrom, B. Wittenmark. — Reading, MA: Addison-Wesley, 1995. P. 580.
8. Hofer P. Measures for increasing the energy efficiency of UFA feed mills in Switzerland / Peter Hofer, Viktor Borner, – Feed Compounder. — ISSN 0950-771X, March/April 2013, Vol.33 № 2. – Pentlands Publishing Ltd.: Bakewell. — Page 52-54.
9. Tan Y. Extremum Seeking From 1922 To 2010 / Y. Tan, W.H. Moase, C. Manzie, D. Nesic, I.M.Y. Mareels. — Proceedings of the 29th Chinese Control Conference July 29-31, 2010, Beijing, China, pp. 14-26.

# EXTREME CONTROL SYSTEM OF HAMMER FEED GRINDER ELECTRIC DRIVE

*Koshkin D.L.*

*The article focuses on the implementation of energy-efficient technologies in agriculture. The use of feed grinder's electric drive extreme control system with extremum step search by two coordinates: the grinder rotational speed and the material feed is proposed to improve the energy performance of the crushing process. The structural and functional schemes of the control system are given.*

**Keywords:** *feed grinder, electric drive, extreme control system.*

**УДК 621.314:536.74**

## ВИКОРИСТАННЯ ЛАНЦЮГОВИХ СХЕМ ЗАМІЩЕННЯ ДОВГИХ ЛІНІЙ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ

*Хвоцан О. В., канд. техн. наук, старший викладач  
Миколаївський національний аграрний університет*

*Одержано аналітичні залежності, що дозволяють однозначно визначити необхідне число ланок ланцюгової схеми заміщення довгої лінії для виконання розрахунків із заданою точністю.*

**Ключові слова:** *довга лінія, ланцюгова схема заміщення, перехідний процес.*

*Получены аналитические зависимости, позволяющие однозначно определить необходимое число звеньев цепной схемы замещения длинной линии для выполнения расчетов с заданной точностью.*

**Ключевые слова:** *длинная линия, цепная схема замещения, переходный процесс.*

**Постановка проблеми.** Аналіз процесів в довгих лініях, інакше званих колами з розподіленими параметрами (КРП) є хоч і вивченим, але досить складним завданням. Загальний курс теоретичних основ електротехніки [1] дає уявлення про теоретичний розрахунок ланцюгів за допомогою системи телеграфних рівнянь з початковими і граничними умовами, проте в ряді випадків її аналітичне рішення представляє труднощі. Досить часто при складанні фізичних моделей і використанні спеціалізованих програм за розрахунками перехідних процесів доцільно використовувати ланцюгові схеми заміщення кіл з розподіленими параметрами. Оскільки наявні залежності з обліку похибки подібної заміни досить складні для аналізу, **метою** даної роботи є отримання більш простих у застосуванні формул.

**Загальні відомості.** У періодичних і перехідних режимах КРП характеризуються первинними і вторинними параметрами. Розглядаючи найпростіший випадок - двопровідну довгу лінію (рис. 1), виділяють наступні первинні параметри:

-  $C_0$  - поперечна ємність між прямим і зворотним проводами, Ф/м;