

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ
ЕЛЕКТРОДВИГУНА НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ГРАНУЛЯТОРА КОРМІВ**

В. Ю. Рамиш, кандидат технічних наук, доцент

О. Я. Кондрат, асистент

*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і
природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»*

E-mail: ramsh_v@ukr.net

E-mail: figus1985@yahoo.com

Анотація. Досліджено вплив зміни частоти обертання електродвигуна на продуктивність гранулятора, а також на технологічні й енергетичні параметри роботи грануляторів кормів. Виявлено залежності між частотою обертання електродвигуна та такими показниками, як продуктивність і загальні характеристики роботи обладнання. Продуктивність зростає зі збільшенням числа обертів до певного моменту, але для більшості кормів спостерігається стабілізація або навіть зниження продуктивності, після досягнення максимального рівня. Різні корми мають свої оптимальні характеристики: соя і суміш зернових, краще підходять для роботи гранулятора через їх вищу продуктивність, для ячменю, слід враховувати, що його продуктивність значно нижча, тому, необхідно вносити корективи в технологічний процес (змінювати структуру, вологість або інші параметри).

Вологість корму в діапазоні 9–9,6 % сприяє високій продуктивності, ячмінь має найнижчу продуктивність, навіть за оптимальної вологості, що може бути пов'язане з його фізичними властивостями.

Проведення досліджень дозволяє визначити оптимальні режими роботи гранулятора, за яких досягається виробництво якісного комбікорму при мінімальних енергетичних витратах.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення впливу інших параметрів, таких як температура та додаванні різних компонентів.

Відхилення зміни частоти обертання електродвигуна призводить до порушення стабільного перебігу технологічних процесів, зниження якості продукції, скорочення строку служби електрообладнання, збільшення втрат електроенергії у системах електроспоживання та створення аварійних ситуацій, що можуть загрожувати безпеці людей.

Ключові слова: *гранулятор кормів, електропривод, продуктивність, частотний перетворювач, аналізатор мережі*

Актуальність. Нині в нашій країні особливий акцент робиться на раціональному використанні природних ресурсів і збереженні навколишнього середовища. Це тісно пов'язано з удосконаленням технологій і технічних засобів, що забезпечують їх впровадження, а також із використанням органічних матеріалів у сільському господарстві для виготовлення кормів [1, 2, 3]. Технологія гранулювання дає можливість отримувати корми з заданими розмірами, формою та необхідними фізико-механічними властивостями. Це сприяє зменшенню втрат під час транспортування, зберігання та переробки, а також покращує ефективність їхнього подальшого використання.

Органічні матеріали в гранульованій формі активно використовуються в сільському господарстві для підвищення ефективності засвоєння тваринами поживних речовин. Процес формування гранул реалізується за допомогою різноманітних технологій, таких як прокатування, екструзія, пресування та вплив вібрацій. Кожен із цих підходів має свої переваги та технологічні особливості, що враховують потреби і специфіку подальшого використання кормів.

Зважаючи на це, вибір певного обладнання залежить від технології формування, яку планується використовувати. Проте існують матеріали, гранулювання яких у традиційних апаратах (наприклад, барабанних чи тарілчастих) є досить складним завданням через високий рівень енергоспоживання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Роль кормовиробництва в тваринництві є базовою і однією з основних, оскільки кормова база має вплив не лише на стан тварин, а й продукцію вцілому. Дослідженням стану галузі тваринництва, певним питанням інвестування присвячено праці відомих вітчизняних учених, серед яких В. Г. Андрійчук, М. В. Гладій, М. І. Кісіль, М. Ф. Кропивко, Ю. О. Лупенко та інші. Однак існують питання, пов'язані з особливостями розвитку товарного кормовиробництва (коли реалізація продукції кормовиробництва здійснюється поза межами підприємства, а не лише для власних потреб), що потребують подальшого вивчення та дослідження. Особливо актуальним нині є визначення пріоритетних напрямів та перспектив розвитку кормовиробництва в невеликих фермерських господарствах.

Мета дослідження – встановити вплив зміни частоти обертання електродвигуна на технологічні характеристики грануляторів кормів.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження змін кутової швидкості електроприводів грануляторів кормів та енергетичних втрат при варіації частоти струму здійснювалося на основі положень теорії електроприводів. Вони охоплюють електромеханічні властивості асинхронних електродвигунів, характеристики приводних механізмів, енергетику усталених режимів роботи електроприводів.

У ході експериментальних досліджень частота струму регулювалася за допомогою частотного перетворювача компанії «ЕТІ Україна». Паралельно визначалися ключові параметри: частота обертання електродвигуна, продуктивність і струм навантаження гранулятора кормів.

Результати досліджень та їх обговорення. Комбікорм - це складна, однорідна суміш різноманітних кормових компонентів, які попередньо очищені, подрібнені та скомпоновані на основі науково обґрунтованих рецептів. Основна мета його використання - забезпечити максимальну ефективність засвоєння поживних речовин тваринами [1, 4].

Серед переваг комбікорму можна виділити економію кормових ресурсів та раціональне використання відходів, комбікорм дозволяє включати до свого складу сировину, яка окремо не може використовуватися через непрезентабельний вигляд або інші обмеження. Також є можливість надати продукції форму, яка зручна для згодовування тварин. Комбікорми виготовляються для більшості видів і груп тварин.

Завдяки екструзійній обробці значно покращуються споживчі властивості кормів. Це відбувається через утворення ароматичних сполук та підвищення активності ферментів, що сприяє кращій засвоюваності. Вплив високих температур і тиску зведений до мінімуму і триває лише 4–6 секунд. За цей короткий час вітаміни та мікроелементи не встигають руйнуватися.



Рис. 1. Загальний вигляд корму, що виготовляється екструдером:

а – пшениця; *б* – соя; *в* – пшениця, кукурудза, ячмінь

Процес екструзії корму полягає в обробці суміші в робочій камері під заданим тиском і температурою. З вихідного елемента – матриці – виходять гранули діаметром 4,5–5 мм і довжиною 1,3–1,5 см (рис. 1) з такою вологістю: ячмінь – 9 %, кукурудза – 9,6 %, соя – 9,4 %, пшениця – 8,8 %. Гранули готові до використання як корм.

Частота обертання матриці має свої обмеження. Максимальна частота залежить від міцності гранул, які формуються в її каналах, тоді як мінімальна частота повинна забезпечувати ефективне захоплення матеріалу і безперервне його подавання до вальців, особливо у випадках використання вертикальних матриць. Таким чином, електропривод повинен підтримувати стабільну швидкість обертання матриці, навіть при зміні параметрів подачі матеріалу або його технологічних властивостей. Для цих потреб найкраще підходять асинхронні електродвигуни, які мають жорстку механічну характеристику в робочій зоні.

Щоб уникнути пошкоджень деталей, запуск гранулятора здійснюється з очищеними камерами, тобто без залишків корму, на холостому ході. У цьому випадку, основний опір створюють сили тертя в підшипниках і різного типу передачах. Механічна характеристика пристрою за таких умов має вигляд, зображений на рис. 2, при цьому момент зрушення не перевищує номінального моменту машини.

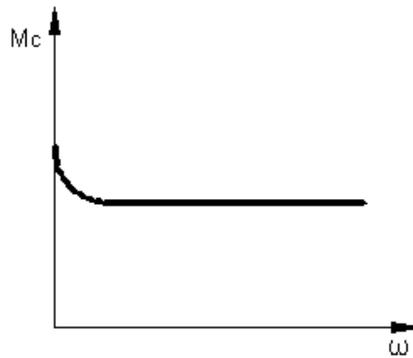


Рис. 2. Механічна характеристика грануляторів кормів

Частота обертання робочих елементів преса є низькою, тому момент інерції всієї системи, приведений до вала двигуна, переважно залежить від моменту інерції ротора самого двигуна. Це пояснює, чому час запуску електродвигуна становить лише кілька секунд, а ступінь його нагрівання під час пуску залишається низьким.

Електродвигун, використаний у дослідженнях, характеризується невеликими пусковими струмами, що дозволяє виконувати його прямий запуск. Його робота відбувається в тривалому режимі із змінним навантаженням.

Продуктивність преса з обертовою кільцевою матрицею розраховується за формулою:

$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} l \gamma k z n \beta_0 k_\epsilon \quad (1)$$

де d_0 – діаметр гранули, м; l – довжина гранули, м; γ – об'ємна маса гранул, кг/м³; k – кількість пресувальних вальців; z – кількість отворів у матриці; n – частота обертання матриці, об/с; β_0 – коефіцієнт буксування вальця ($\beta_0=0,80-0,95$); k_ϵ – коефіцієнт використання площі "живого" перерізу матриці ($k_\epsilon=0,6 - 0,9$).

Потужність привода для пресів можливо розрахувати, використовуючи методики, описані у спеціалізованій літературі. Орієнтовно, її визначають за допомогою питомої енергоємності процесу:

$$P = Qq, \quad (2)$$

де Q – продуктивність машини, кг/с.

Питома енергоємність процесу q визначається видом і складом пресованих кормів, а також розміром гранул чи брикетів.

Для реалізації програми досліджень було створено спеціальний експериментальний стенд, побудований на основі електрообладнання «ЕТІ Україна». Апаратна частина стенду, представлена принциповою схемою, яка наведена на рисунку 2.

До складу експериментального стенду входять гранулятор і система керування, оснащена засобами автоматизації досліджень. Ця система призначена для ефективного вирішення завдань, пов'язаних із оптимізацією режиму гранулювання матеріалів.

Заключні експериментальні дослідження процесу гранулювання зернових культур проведено на оновленому експериментальному стенді, загальний вигляд якого наведено на рисунку 4.

Головний електропривод розміщено на рамі, асинхронний електродвигун типу АИР80В4: $P_H=1,5$ кВт; $n = 1500$ об./хв.; $I_H=3,72$ А; $U_H=380$ В.

Крутний момент від валу електродвигуна передається на вал шнека через клинопасову передачу.

Дослідження проводилися відповідно до розробленого алгоритму і затвердженої методики. У ході експериментів визначали продуктивність гранулювання кормів при різних режимах роботи гранулятора, а також щільність і крихкість отриманих гранул залежно від температури та вологості вихідної сировини.

На рамі стенда встановлений модернізований гранулятор із циліндричною матрицею, яка розташована на зовнішній поверхні колеса зубчастої передачі із внутрішнім зчепленням (рис. 5).

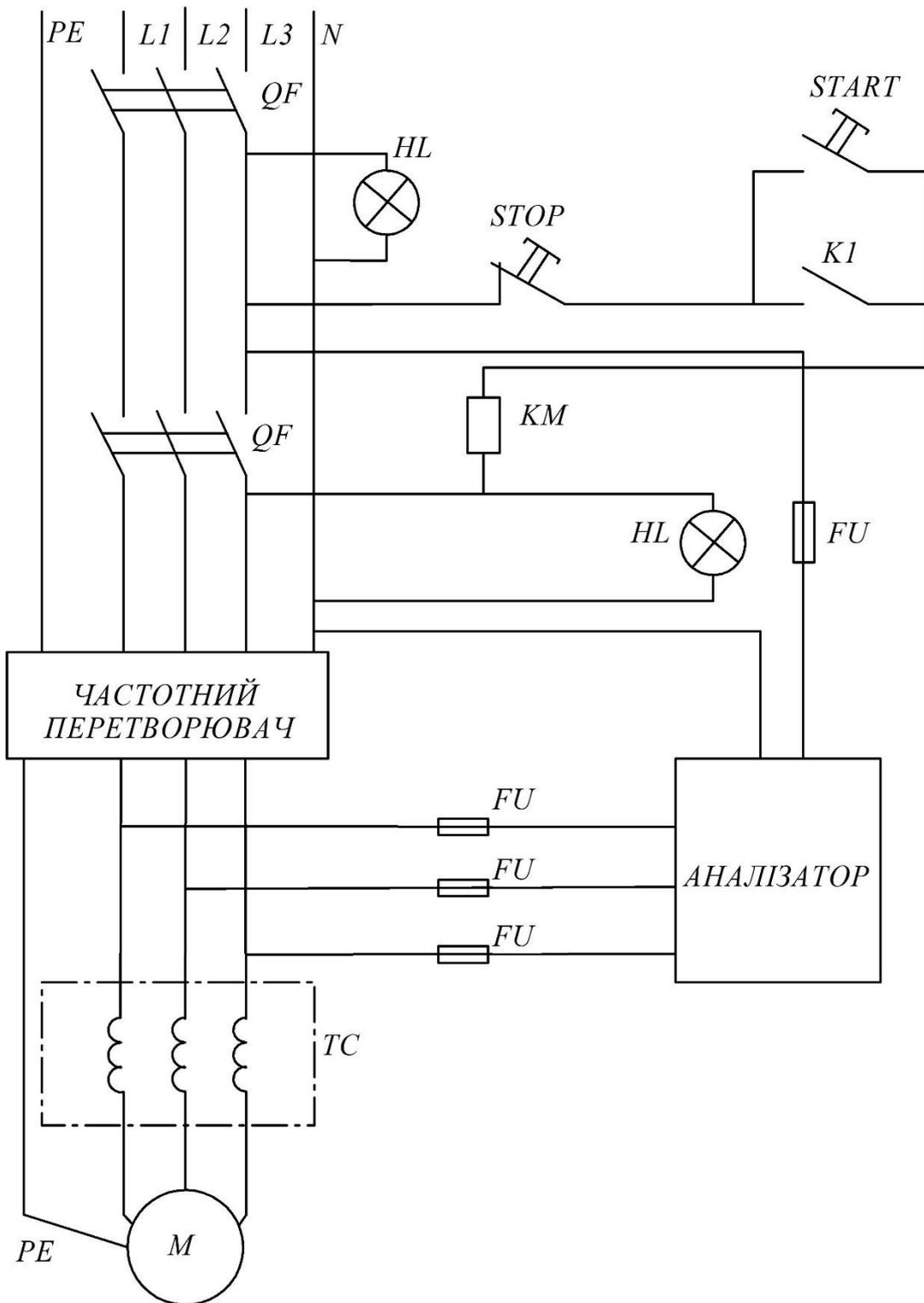


Рис. 3. Принципова схема модернізованого експериментального стенда



a



б

Рис. 4. Загальний вигляд гранулятора (а) та щита керування (б)

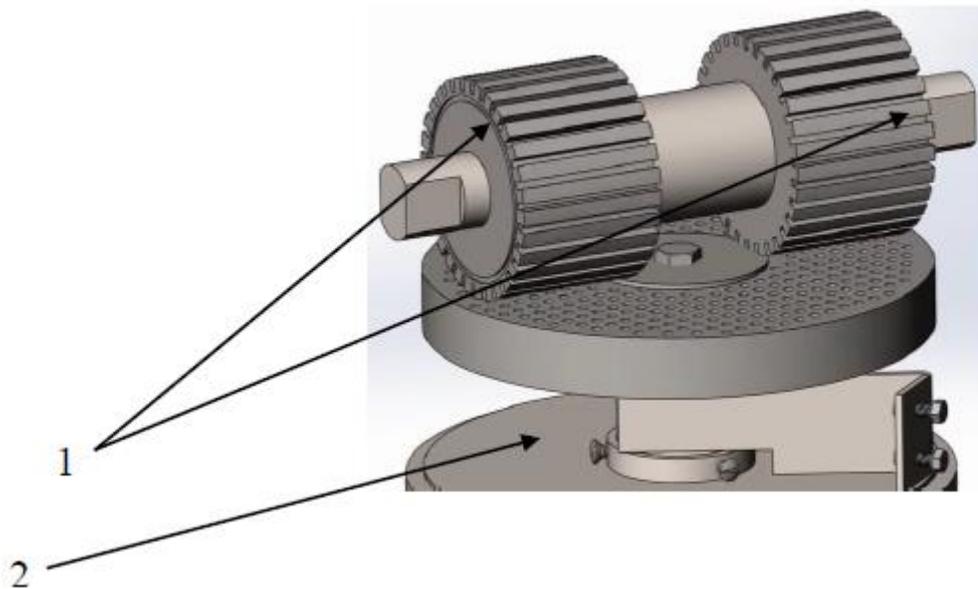


Рис. 5. Матричний гранулятор:

1 – ролики, 2 – матриця

Принцип роботи гранулятора такий. Початкова сировина завантажується у бункер, після чого вона потрапляє у западини веденого колеса. Під час обертання шестерні та веденого колеса зубці шестерні закривають западини веденого колеса, стискаючи сировину. У результаті цього, сировина вдавлюється в отвори циліндричної матриці.

Процес вдавлювання завершується, коли зубчасті колеса ведуче і ведене знаходяться в нижньому положенні. У цей момент зуб шестерні повністю вдавлює сировину в отвори матриці, формуючи гранули. При подальшому обертанні веденого колеса під впливом відцентрових сил, відбувається ущільнення сировини та формування гранул. На наступному етапі цикл повторюється: нова порція сировини завантажується у западини веденого зубчастого колеса, які знову закриваються зубцями ведучої шестерні. Під час цього процесу сировина піддається руйнуванню, стиску і вдавлюється в отвори циліндричної матриці.

Кожна нова порція сировини виштовхує з отворів кільцевої матриці попередню порцію, яка вже сформована у вигляді готових гранул. Для проведення експериментальних досліджень фізико-технологічних характеристик органічної сировини, яка гранулюється на цьому обладнанні, було використано контрольно-

вимірювальну та реєструючу апаратуру. До її складу входили: цифровий тахометр DT-2234С+, цифровий таймер, аналізатор мережі ENA33LCD, вологомір ВСП-100, а також електронні штангенциркулі та мікрометри.

Гранулювання проводили на матриці з отворами діаметром 6 мм.

У таблиці представлено дані про продуктивність процесу гранулювання кормів залежно від частоти обертів приводного валу. Ці результати дозволяють визначити оптимальні режими роботи гранулятора для забезпечення максимальної ефективності.

Дані щодо продуктивності гранулювання

Частота обертання <i>n, об/хв</i>	Час <i>t, с</i>	Продуктивність <i>Q, кг/год</i>	Маса продукту <i>m, кг</i>
Пшениця			
350	60	21	0,35
500	60	39	0,7
650	60	36,6	0,61
Соя			
350	60	30	0,5
500	60	40	0,79
650	60	36	0,6
Кукурудза			
350	60	22,8	0,38
500	60	39	0,7
650	60	36	0,6
Продовження таблиці 1			
Ячмінь			
350	60	18,5	0,3
500	60	29	0,5
650	60	25,8	0,43
Соя, Пшениця, Кукурудза			
350	60	28,8	0,5
500	60	39	0,78
650	60	30	0,5

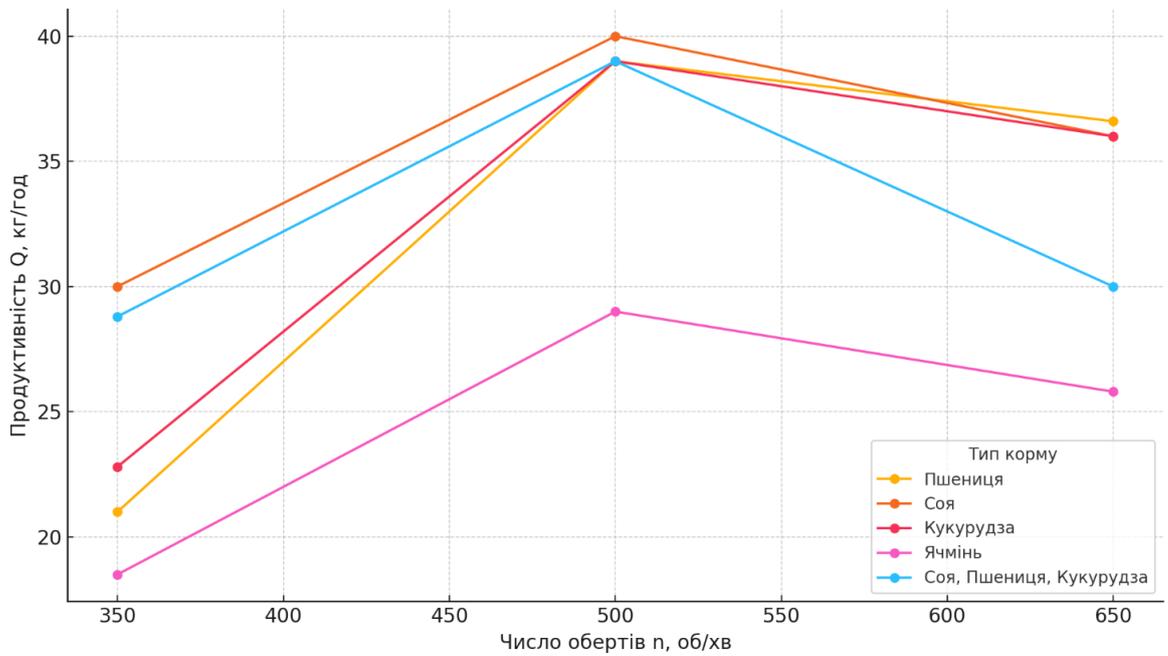


Рис.6. Залежність продуктивності гранулятора кормів від частоти обертання електродвигуна для різних кормів

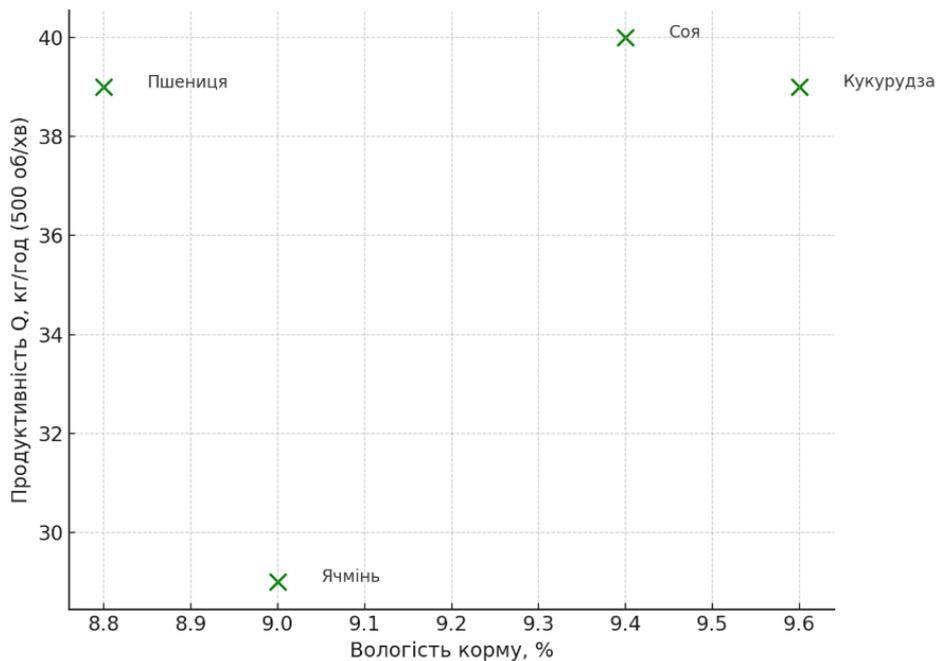


Рис.7. Графік залежності продуктивності (Q) від вологості корму при 500 об/хв

Висновки і перспективи. З графіків можна зробити висновок, що продуктивність зростає зі збільшенням числа обертів до певного моменту, але для

більшості кормів спостерігається стабілізація або навіть зниження продуктивності після досягнення максимального рівня, наприклад:

- для пшениці продуктивність досягає максимуму при 500 об/хв, а потім трохи знижується;
- для сої максимальна продуктивність спостерігається при 500 об/хв, після чого вона теж зменшується;
- кукурудза має подібну тенденцію: продуктивність зростає до 500 об/хв, а далі залишається стабільною або трохи падає;
- різні корми мають свої оптимальні характеристики: соя і суміш зернових краще підходять для роботи гранулятора через їх вищу продуктивність;
- для ячменю слід враховувати, що його продуктивність значно нижча, тому, можливо, необхідно вносити корективи в технологічний процес (змінювати структуру, вологість або інші параметри);
- вологість корму в діапазоні 9–9,6 % сприяє високій продуктивності;
- ячмінь має найнижчу продуктивність навіть за оптимальної вологості, що може бути пов'язане з його фізичними властивостями.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення впливу інших параметрів, таких як температура при екструзії корму та додаванні різних компонентів.

Список використаних джерел

1. Азарян О. М., Біленький О. Ю. Ретроспективний аналіз розвитку виробництва комбікормів в Україні. *Економічні науки. Вісник Хмельницького національного університету*. Хмельницький. 2009. № 6 (3). С. 169–165.
2. Волкова С. Ф., Щербатова К. О. Розвиток комбікормового виробництва як основа забезпечення продовольчої безпеки України. *Економіка харчової промисловості ОНАХТ*. Одеса, 2015. № 2(26). С. 5–10
3. Єгоров Б. В. Технологія виробництва комбікормів: підручник для студентів вищ. навч. закл. напряму «Харчова технологія та інженерія» за програмами бакалаврів і спец. «Технологія зберігання та переробки зерна» за програмами спеціалістів і магістрів. Одеса: Друк. дім, 2011. 448 с.
4. Дяченко Л. С., Бомко В. С., Сивик Т. Л. Основи технології комбікормового виробництва : навч. посібник. Біла Церква, 2015. 306 с.
5. Зінченко О. І. Кормовиробництво: Навчальне видання. 2-е вид., доп. і перероб. К.: Вища освіта, 2005. 448 с.

6. Appuu Kuttan K.K. Introduction to MECHATRONICS – Oxford University, 2007. – 327 с.
7. Patrick Kaltjob. Mechatronic Systems and Process Automation – New York, 2018. – 431 с.
8. Andrzej M. Pawlak. Sensors and actuators in mechatronics – New York, 2010. – 363с.
9. William Bolton. Mechatronics. Electronic control systems in mechanical and electrical engineering – United Kingdom, 2015. – 639с.

References

1. Azaryan, O. M., Bilenkyi, O. Y. (2009). Retrospektyvnyi analiz rozvytku vyrobnytstva kombikormiv v Ukraini [Retrospective analysis of the development of feed production in Ukraine]. Economic sciences. Bulletin of Khmelnytsky National University. Khmelnytskyi, № 6 (3), 169-165.
2. Volkova, S.F., Shcherbatova, K.O. (2015). Rozvytok kombikormovoho vyrobnytstva yak osnova zabezpechennia prodovolchoi bezpeky Ukrainy [Development of feed production as a basis for ensuring food security of Ukraine]. Economics of food industry ONAFT. Odesa, № 2(26), 5-10.
3. Egorov, B. V. (2011). Tekhnolohiia vyrobnytstva kombikormiv [Technology of mixed fodder production: a textbook for students of higher educational institutions of the direction “Food technology and engineering” for bachelor's programs and specialty “Technology of storage and processing of grain” for specialist and master's programs]. Odesa: Printing house, 448.
4. Dyachenko, L S, Bomko, V. S, Syvyk, T. L (2015). Osnovy tekhnolohii kombikormovoho vyrobnytstva [Fundamentals of feed production technology: a textbook]. Bila Tserkva, 306.
5. Zinchenko, O. I. (2005). Kormovyrobnytstvo [Feed production: Educational edition. 2nd ed.] Kyiv: Higher Education, 448.
6. Appuu Kuttan, K.K. (2007). Introduction to MECHATRONICS. Oxford University, 327.
7. Patrick Kaltjob. (2018). Mechatronic Systems and Process Automation. New York, 431.
8. Andrzej M. Pawlak. (2010). Sensors and actuators in mechatronics. New York, 363.
9. William Bolton (2015). Mechatronics. Electronic control systems in mechanical and electrical engineering. United Kingdom, 639.

STUDY OF THE INFLUENCE OF CHANGES IN THE MOTOR SPEED ON THE TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF A FEED PELLETT MILL

V. Ramsh, O. Kondrat

Abstract. *The influence of changes in the motor speed on the pellet mill performance, as well as on the technological and energy parameters of feed pellet mills is investigated. The dependencies between the motor speed and such indicators as productivity and general characteristics of the equipment operation are revealed.*

Productivity increases with increasing speed up to a certain point, but for most feeds, there is a stabilisation or even a decrease in productivity after reaching the maximum level. Different feeds have their own optimal characteristics: soybeans and a mixture of cereals are better suited for pellet mills due to their higher productivity, while barley has a much lower productivity, so it is necessary to make adjustments to the technological process (change the structure, moisture content or other parameters).

Feed moisture content in the range of 9-9.6% contributes to high productivity, while barley has the lowest productivity even at optimal moisture content, which may be due to its physical properties.

The research allows us to determine the optimal operating modes of the pellet mill, which achieve the production of high-quality feed with minimal energy consumption.

Further research can be aimed at studying the influence of other parameters, such as temperature and the addition of various components.

Deviations in the change in the motor speed lead to a disruption in the stable flow of technological processes, a decrease in product quality, a reduction in the service life of electrical equipment, an increase in electricity losses in power consumption systems, and the creation of emergencies that can threaten human safety [1].

Key words: *feed pellet mill, electric drive, performance, frequency converter, network analyser*