

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-42-45>

УДК 621.3.077

АДАПТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ САМОБОРОТНОЇ МЕДОГОНКИ

Логунів О.М.

HONEYCOMB ELECTRIC DRIVE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM

Logunov O.M.

Розглянуто сучасний стан типових засобів автоматизації пасік в Україні, показані вимоги до медоконок в цілому та до систем управління їх електроприводом зокрема. Розглянуто декілька існуючих систем керування електроприводом медогонки. Показані їх типові недоліки: використання ненадійних електромеханічних реле, обмежена кількість програм, відсутність систем контролю швидкості обертання барабана та зворотного зв'язку. Розглянуто конструкцію медогонки. Надано диференціальне рівняння руху колекторного двигуна постійного струму. Наведено вираз, що зв'язує момент інерції ротора медогонки та масу меду в стільниках. Запропоновано спосіб моніторингу процесу відкачування меду за допомогою датчика зворотного зв'язку. Наведено вираз для обчислення моменту інерції, порівняння якого з вимірним моментом інерції дасть сигнал про помилку в систему управління. Зазначено, що вимірювання моменту інерції дозволяє визначити початкову кількість меду в рамці і вибрати оптимальні моменти реверсу каруселі, а використання адаптивного алгоритму керування дозволить налаштувати тривалість горизонтальних відрізків на графіку кутової швидкості ротору медогонки та визначити оптимальні моменти реверсування ротора для кожної партії стільників. Отримано графік максимально допустимої частоти обертання каруселі хордальної медогонки в залежності від маси меду в рамках. Наведено порівняльний графік кутової швидкості обертання барабана відцентрової медогонки з оборотними касетами для випадків з використанням стандартної програми відкачування рамок та з адаптивним керуванням процесом відкачування. Запропоновано метод визначення поточної швидкості відкачування, що дозволяє підвищити ефективність контролю відкачки меду та скоротити час обробки стільникових рамок без втрати якості. Запропоновано використання платформи Arduino в якості елементної бази для побудови системи управління. Запропоновано використання датчика Холла для отримання сигналу зворотного зв'язку. Визначено напрями подальших досліджень – визначення коефіцієнтів ПІД-регулятора та визначення оптимальної для даного етапу відкачки швидкості обертання на основі зміни моменту інерції барабана.

Ключові слова: медогонка, момент інерції, датчик, електропривод, ШІМ, ПІД-регулятор, стільник.

Вступ. На даний момент бджільництво є однією з небагатьох галузей, що постійно розвиваються, в Україні загалом і в Луганській області особливо. Обсяги виробництва та експорту меду щорічно зростають [1]. У той же час, на відміну від інших країн – провідних виробників продукції бджільництва, в Україні більша частина меду виробляється дрібними та середніми (20-200 вуликів) пасікарами з найрізноманітнішим обладнанням – від ручних хордальних медоконок на 3 рамки з необоротними касетами до радіальних медоконок з електроприводом на кілька десятків сотових рамок.

Останнім часом збільшується поширення медоконок з електроприводом і системами управління. Обладнання характеризується великою різноманітністю. Представлені медогонки з ручним та автоматичним керуванням електроприводом. Лідером на ринку України є продукція компанії «АВВ-100», останні моделі якої комплектуються автоматичною мікропроцесорною системою керування електроприводом та системою синхронного розвороту рамок при зміні напрямку обертання, що дозволяє проводити весь цикл відкачування в автоматичному режимі.

Пропонується електропривод із двигуном постійного струму з напругою живлення 12 або 24 В [2]. Ця система управління має низку недоліків. Схема реверсу двигуна реалізована на електромеханічному реле, які мають низький експлуатаційний ресурс. Кількість програм обмежена. Жодна з програм не має понад 4 стадій роботи. Системи контролю швидкості обертання барабана та зворотного зв'язку відсутні. В останніх версіях додано ручний режим керування. Вибір швидкості обертання та тривалості відкачування відбувається інтуїтивно, без урахування в'язкості та кількості меду в рамках. При цьому надмірна швидкість обертання викликає руйнування рамок, а недостатня тривалість призводить до неповного відкачування меду. Тому цікава система контролю швидкості відкачування безпосе-

редньо під час процесу. Реалізувати таку систему можна на популярній та доступній платформі Ардуїно, якщо встановити датчик швидкості обертання каруселі. Схема такої медогонки представлена на рис. 1.

У статті [3] описано систему управління медогонкою та наведено графік зміни частоти обертання ротора, що забезпечує повне відкачування меду без пошкодження стільникових рамок (рис. 6). Його недоліком є фіксований час відкачування, певний виходячи з найменш сприятливого випадку - крихкі (нові) стільники, заповнені густим медом. При меншому заповненні стільників або меншій в'язкості меду час обробки може бути зменшено.

У роботі [4] пропонується модель системи управління процесом відкачування меду, але розглядається система управління електроприводом без зворотного зв'язку, а розрахунки та експериментальна установка виконані на базі трирамкової хордальної медогонки з необоротними касетами, яка втрапила актуальність.

У роботі [5] також розглядається система управління електроприводом без зворотного зв'язку, а розрахунки виконані для малопоширеної радіальної медогонки з горизонтально розташованою віссю.

Метою статті є побудувати математичну модель процесу відкачування для визначення поточної швидкості відкачування, яка дозволить підвищити ефективність управління медогонкою та скоротити час обробки стільникових рамок без втрати якості.

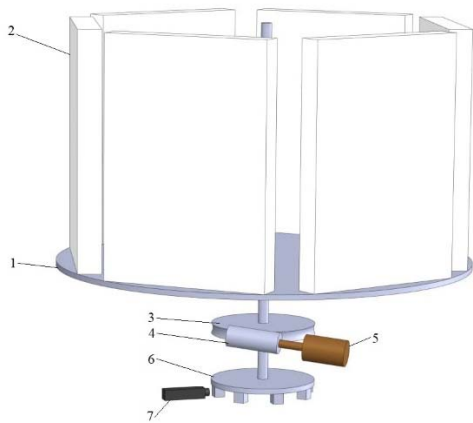


Рис. 1 Схема медогонки (корпус медогонки не показаний)

Опис обладнання. Карусель медогонки 1 утримує рамки з медом 2, які обертаються від електродвигуна 5 через черв'ячну передачу 3 і 4. Системою зворотного зв'язку є закріплений на осі каруселі диск 6 з рівномірно розташованими магнітами та датчик Холла 7.

Математична модель обладнання. Як приклад розглянемо одновимірну систему - електропривод з колекторним двигуном постійного струму (рис. 2), що описується диференціальним рівнянням першого порядку [6]

$$M_g = M_c + J \frac{d\omega}{dt}, \tag{1}$$

де M_g , M_c – моменти крутний і опору; ω – кутова швидкість обертання валу двигуна; t – поточний час; J – момент інерції, приведений до валу двигуна.

$$J = J_0 + \frac{m \cdot R^2 + J_k}{i^2}, \tag{2}$$

де J_0 – момент інерції якоря електродвигуна та черв'яка; m – маса меду в рамках; R – радіус розташування рамок у каруселі; J_k – момент інерції конструктивних елементів каруселі та рамок; i – передавальне число черв'ячного редуктора.

$$i = \frac{z_k}{z_c},$$

де z_k – кількість зубів на черв'ячному колесі; z_c – число заходів черв'яка.

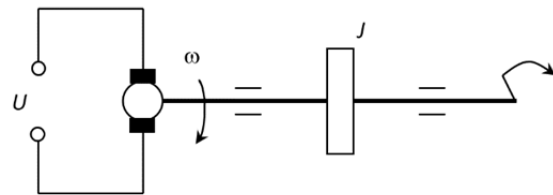


Рис.2. Схема приводу постійного струму

На якірну обмотку двигуна подається напруга U , номінальна напруга живлення двигуна (рис. 3).

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{U}{U_{ном}} - \frac{M_g}{M_P}, \tag{3}$$

де M_P – пусковий момент; $U_{ном}$ – номінальна напруга живлення двигуна, ω_0 – кутова швидкість холостого обертання при $U=U_{ном}$.

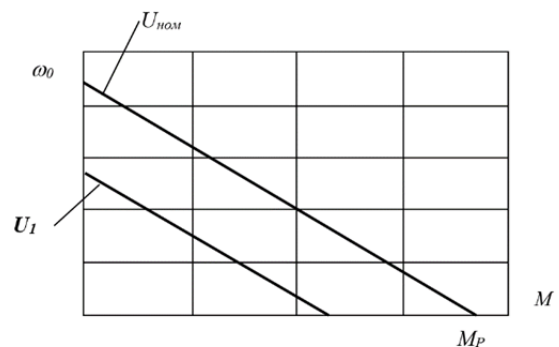


Рис. 3. Механічна характеристика двигуна постійного струму ($U_{ном} > U_1$).

Поєднуючи рівняння (1) - (3), запишемо остаточне рівняння для моделі

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_p}{J} \left(\frac{U}{U_{ном}} - \frac{\omega}{\omega_0} \right) \quad (4)$$

Кутова швидкість обертання каруселі обмежена міцністю стільників

$$\Omega = \sqrt{\frac{F_{kp}}{m \cdot R}}, \quad (5)$$

Експериментально визначивши, що 60 об/хв витримують без ушкодження всі медові рамки, можна побудувати криву регулювання частоти обертання каруселі у процесі відкачування меду.

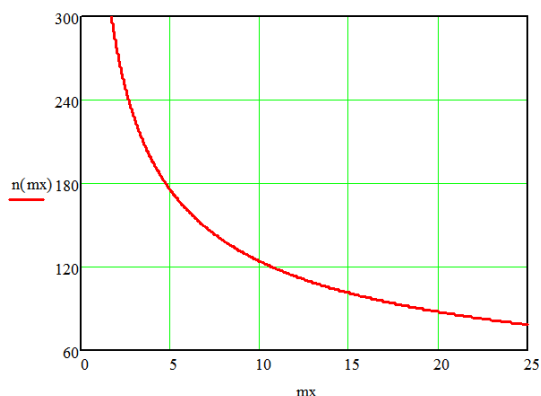


Рис.4. Максимально допустима частота обертання каруселі медогонки в залежності від маси меду в рамках

Виразим масу меду через момент інерції каруселі з формули (2) та отримаємо

$$\Omega = \sqrt{\frac{F_{kp} \cdot R}{i^2 (J - J_0) - J_k}}, \quad (6)$$

Це значення є оптимальним з точки зору продуктивності процесу відкачування.

Поточні значення кутової швидкості та прискорення каруселі можна визначити, використовуючи дискретні відліки часу з датчика Холла

$$\Omega = \frac{d\varphi}{dt} \approx \frac{\varphi_i - \varphi_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} = \frac{\Delta\varphi}{t_i - t_{i-1}} \quad (7)$$

$$\frac{d\Omega}{dt} \approx \frac{2\Delta\varphi(2t_i - t_{i-1} - t_{i+1})}{(t_{i+1} - t_{i-1})(t_i - t_{i-1})(t_{i+1} - t_i)}$$

Поточний момент інерції каруселі можна визначити, використовуючи вираз (4)

$$J = \frac{M_p}{i \left(\frac{d\Omega}{dt} \right)} \left(\frac{U}{U_{ном}} - \frac{i\Omega}{\omega_0} \right) \quad (8)$$

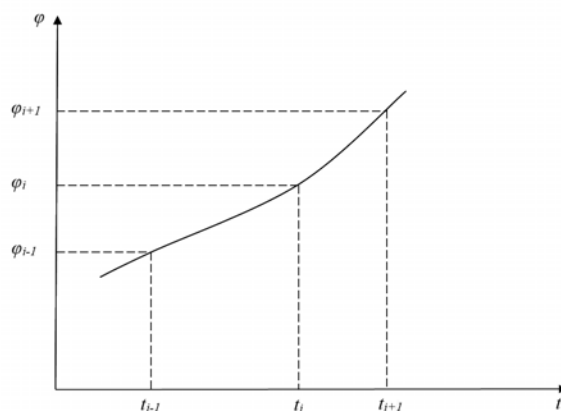


Рис.5. Визначення параметрів обертання за допомогою імпульсного датчика

підставимо отримане значення J формули (6) і обчислимо оптимальне значення Ω_0 , порівняння якого з вимірним дасть сигнал помилки системи управління. Крім того, вимірювання моменту інерції дозволяє визначити початкову кількість меду в рамках і вибрати оптимальні моменти реверсу каруселі.

Типовий графік зміни обертів медогонки показано на рис. 6.

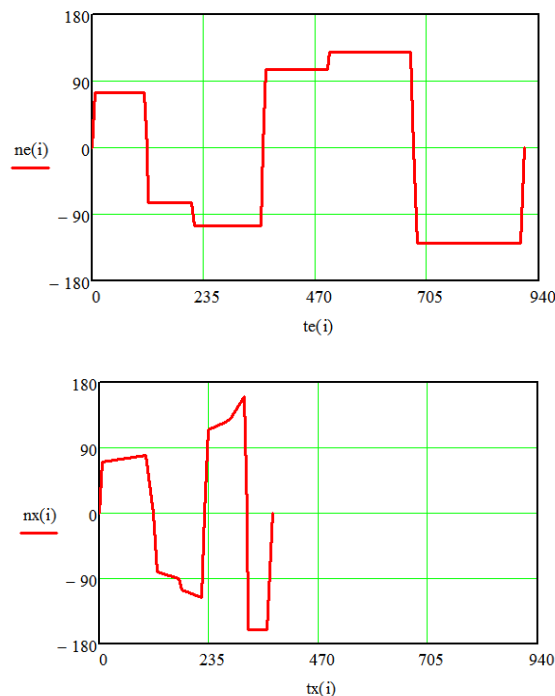


Рис. 6. Графік кутової швидкості обертання барабана відцентрової медогонки з оборотними касетами (вгорі – стандартна програма відкачування рамок, внизу – адаптивне керування процесом відкачування)

Використання адаптивного алгоритму управління дозволяє скоригувати тривалість горизонтальних ділянок на графіку та визначити оптимальні

моменти реверсування ротора медогонки для кожної партії рамок із медом.

Висновки. Побудовано математичну модель процесу відкачування меду. Запропоновано спосіб визначення поточної швидкості відкачування, що дозволяє підвищити ефективність управління медогонкою та скоротити час обробки стільникових рамок без втрати якості.

Напрямки подальших досліджень. Визначення коефіцієнтів ПІД-регулятора. Визначення оптимальної для даного етапу відкачки швидкості обертання на основі зміни моменту інерції барабана.

Л і т е р а т у р а

1. <http://agroportal.ua/news/ukraina/itogi-goda-eksport-ukrainskogo-meda-ustanovil-absolyutnyi-rekord/>.
2. http://avv-100.com.ua/index.php?route=product/category&path=72_114.
3. Логунов О.М. Система управління електроприводом медогонки на платформі Arduino. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. Северодонецьк: СНУ ім.В.Даля. 2021. № 1 (265). С. 60-63.
4. Хорошунув, Николай Геннадиевич. Режим работы электропривода центрифуги для откачки меда из соторамок : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.02 / Хорошунув Николай Геннадиевич; [Место защиты: Кубан. гос. аграр. ун-т].- Краснодар, 2011.- 144 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/2162
5. Сыркин, В.А. Обоснование частоты вращения ротора радиальной электрифицированной медогонки с горизонтальной осью вращения / С. И. Васильев, В. А. Сыркин // Известия Самарской ГСХА. – 2016. –№4. – С. 51-54.
6. Попович М.Г. Теорія електропривода: Підручник / М. Г. Попович, М. Г. Борисюк, В. А. Гаврилюк та ін.; За ред. М. Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494 с.

R e f e r e n c e s

1. <http://agroportal.ua/news/ukraina/itogi-goda-eksport-ukrainskogo-meda-ustanovil-absolyutnyi-rekord/>.
2. http://avv-100.com.ua/index.php?route=product/category&path=72_114.
3. Lohunov O.M. Systema upravlinnya elektroprivodom medohonky na platformi Arduino. Visnyk Shkhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. Naukovyy zhurnal. Syevyerodons'k : SNU im.V.Dalya. 2021. № 1 (265). С. 60-63.
4. Khoroshunov, Nykolay Hennadyevych. Rezhym raboty élektroprivoda tsentryfuhy dlya otkachky meda yz sotoramok : dyssertatsyya ... kandydata tekhnicheskyykh nauk : 05.20.02 / Khoroshunov Nykolay Hennadyevych; [Mesto zashchyty: Kuban. hos. ahrar. un-t].- Krasnodar, 2011.- 144 s.: yl. RHB OD, 61 11-5/2162
5. Syrkin, V. A. Obosnovanye chastoty vrashchenyya rotora radyal'noy élektryfytirovannoy medohonky s horyzontal'noy os'yu vrashchenyya / S. Y. Vasylyev, V. A.

Syrkin // Yzvestyya Samarskoy HSKHA. – 2016. –№4. – С. 51-54.

6. Popovych M.H. Teoriya elektroprivoda: Pidruchnyk / M. H. Popovych, M. H. Borisyuk, V. A. Havrylyuk ta in.; Za red. M. H. Popovycha. – K.: Vyshcha shk., 1993. – 494 s.

Logunov O.M. Adaptive control system for the electric drive of the honey extractor

Beekeeping in Ukraine is being developed. The export of honey is increasing. The greater part of honey is produced by small and medium sized apiaries. They are hard to mechanize. They continue using the manual honey extractors and manual electric actuator. The popular one is the "ABB-100" company management system. But it has a lot of drawbacks. The relays have a low resource. The amount of programs is limited. There are no control systems. The task of the manual electric extractor control. Honey must be extracted from the honeycomb. The honeycomb must not be damaged. Time should be minimal. The rotation speed must be gradually increased. The direction of rotation changes. At the same time, excessive rotation speed causes the destruction of the frames, and insufficient duration leads to incomplete pumping of honey. Therefore, the pumping speed control system during the process is of interest. You can implement such a system on the popular Arduino platform if you install a carousel rotation speed sensor. Several existing control systems for the electric drive of the honey extractor are considered. It is shown that none of them has feedback. The design of the honey extractor is considered. A differential equation in the motion of a DC collector motor is provided. An expression is presented that relates the moment of inertia of the honey extractor rotor and the mass of honey in the combs. A method for monitoring the pumping process using a feedback sensor is proposed. An expression is given for calculating the moment of inertia. Comparing it with the measured one will give an error signal to the control system. In addition, the measurement of the moment of inertia allows you to determine the initial amount of honey in the frame and choose the optimal moments of the carousel reverse. The use of an adaptive control algorithm will allow you to adjust the duration of the horizontal sections on the graph and determine the optimal moments of reversing the honey extractor rotor for each batch of honeycomb. A method for determining the current pumping speed is proposed, which allows to increase the efficiency of honey extraction control and reduce the processing time of honeycomb frames without loss of quality.

Keywords: honey extractor, moment of inertia, driver, sensor, electric drive, PWM, PID controller, honeycomb.

Логунов Олександр Миколайович – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), logunov@snu.edu.ua

Стаття подана 31.01.2022 р.