

ПРЕСОВЕ ОБЛАДНАННЯ З ПІДВИЩЕНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЙ ВИРУБУВАННЯ ТА ПЕРФОРАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

В даній статті описана розробка конструкції пресового обладнання з підвищеними енергетичними характеристиками для виконання операцій вирубування та перфорації деталей взуття.

Ключові слова: легка промисловість; взуття, операція вирубування та перфорації; пресове обладнання; лінійний електромагнітний двигун; електромагнітний пристрій утримання якоря.

O.S. POLISHCHUK

Khmelnitskyi National University

PRESS EQUIPMENT WITH INCREASED ENERGY CHARACTERISTICS FOR FULFILMENT THE OPERATIONS OF FELLING AND PERFORATION OF FOOT-WEAR COMPONENTS IN LIGHT INDUSTRY

One of the main causes of unjustified energy waste in light industry is imperfection of equipment from point of view of power waste. It refers especially to such parts of equipment as gears. Disparity of the type of gear, its working conditions, capacity and other characteristics to parameters of technological operation which is done on the equipment reduces to the big energy waste. There are a lot of technological operations in light industry which need press equipment in which working organs do return-translational movement only. Basically electromechanical, hydraulic or pneumatic gears are used in it. The main fault of the equipment with such gears is unjustified electrical energy waste during idling of working organs and during loading and unloading equipment with working objects. Creation of highly efficient press equipment with linear electromagnetic engine with increased energy and dynamic characteristics for the implementation of various pulsed technologies is an urgent task and is interesting for many other branches of industry. The purpose of the article is to develop and research high-performance press equipment with a linear electromagnetic engine as a drive with increased energy characteristics designed to perform some light industry technological operations and which should reduce energy costs, increase productivity and improve the quality of cut. One way to improve dynamic efficiency, such as the speed of electromagnetic mechanisms of devices, is to artificial retention anchor in order to increase the current shifts. The realization of this method of increasing the force that counteracts the movement of anchors in linear electromagnetic motors allows you to improve their energy characteristics. The experimental researches of operating modes of press equipment with LEME made it possible to find the optimal mode of operation. The optimum position of the anchor and mass of the impactor was found for this press equipment in a dynamic mode. The use of an electromagnetic device retention anchor in the press equipment with LEME intended for light industry operations can significantly increase its specific energy indices, efficiency and anchor speed.

Keywords: light industry, foot-wear, operations of felling and perforation, press equipment, linear electromagnetic engine, device retention anchor.

Вступ

В ряді галузей промисловості, зокрема легкій, використовуються технологічні процеси, механізація яких здійснюється пристроями та машинами імпульсної дії різних потужностей. В якості технічних засобів, що дозволяють реалізувати імпульсні технології, широко використовуються машини ударної дії з пневмо-, гідро- і електроприводом для виконання операцій вирубування, перфорації, клеймування і т. п. Як правило в таких пристроях відбуваються невиправдані втрати енергії. Тому необхідність створення машин ударної дії з підвищеними енергетичними і динамічними характеристиками для реалізації різних імпульсних технологій є актуальною задачею.

В роботі [1] відмічається перспективність використання для виконання технологічних операцій легкої промисловості в якості приводу пресового обладнання (ПО) лінійних електричних двигунів, а саме лінійних електромагнітних двигунів (ЛЕМД) як одного із їх різновидів.

Створення високоефективного пресового обладнання з лінійними електромагнітними двигунами із підвищеними енергетичними характеристиками, яке дасть змогу споживати електричну енергію тільки під час виконання технологічної операції, є актуальним завданням для легкої промисловості і представляє інтерес для багатьох інших галузей промисловості.

Постановка проблеми

При виконанні операції вирубування чи перфорації на пресовому обладнанні з невеликою швидкістю переміщення робочого органу спостерігається випереджаючий розрив матеріалу перед різакком. В результаті поверхня розриву отримується шорсткою. В роботі [1] доведено, що при швидкісному вирубуванні отримується більш краща чистота торцевої поверхні деталі. Особливо це дуже актуально для виконання операції перфорації деталей взуття.

Для покращення енергетичних та силових характеристик пресового обладнання з ЛЕМД, а також для кращої якості виконання технологічної операції пропонується здійснення штучного утримання якоря двигуна на етапі зрушування за допомогою електромагнітного пристрою утримання якоря (ПУЯ).

Метою статті є розробка та дослідження високоефективного пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном в якості приводу з підвищеними енергетичними характеристиками, призначеного для виконання деяких технологічних операцій легкої промисловості, яке повинно забезпечити

зменшення енергетичних витрат, збільшення продуктивності та покращення якості деталей, що виробуються чи перфоруються.

Виклад основного матеріалу

Один із шляхів покращення динамічної ефективності, наприклад швидкодії електромагнітних механізмів апаратів, є штучне утримування якоря на етапі зрушування з метою підвищення струму зрушування. Реалізація цього способу збільшення протидіючого зусилля до початку переміщення якоря в лінійних електромагнітних двигунах дозволяє покращити їх енергетичні характеристики [2].

Особливу цікавість даний спосіб являє для ЛЕМД, що використовуються в приводі машин ударної дії з навантаженням в кінці ходу, так як в звичайних конструкціях таких машин не забезпечується досягнення значної швидкості та енергії удару через те, що рух якоря починається при мінімальному струмі в обмотці двигуна. Значення цього струму відповідає рівності тягового зусилля ЛЕМД протидіючій силі при початковому положенні якоря.

В однообмоточних лінійних електромагнітних двигунах, які використовуються в приводі пристроїв з навантаженням в кінці ходу, протидіюче зусилля створюється при робочому ході гвинтовою пружиною повернення циліндричного типу, яка працює на стискання. Максимальне зусилля протидіючої пружини F_{np} зазвичай складає декілька відсотків від величини тягового зусилля $F_{ел.поч}$ ЛЕМД на початку ходу. Це зумовлює порівняно невеликий струм зрушування, а відповідно, і невелику енергію, яку споживає двигун від джерела живлення.

Пристрій утримування якоря повинен забезпечувати значну силу опору руху на початку ходу при край малому опорі руху на іншій частині ходу, допускати можливість регулювання сили опору руху на початку ходу, споживати для своєї роботи невелику потужність, не зношуватись і не підвищувати рівень шуму.

Результат роботи

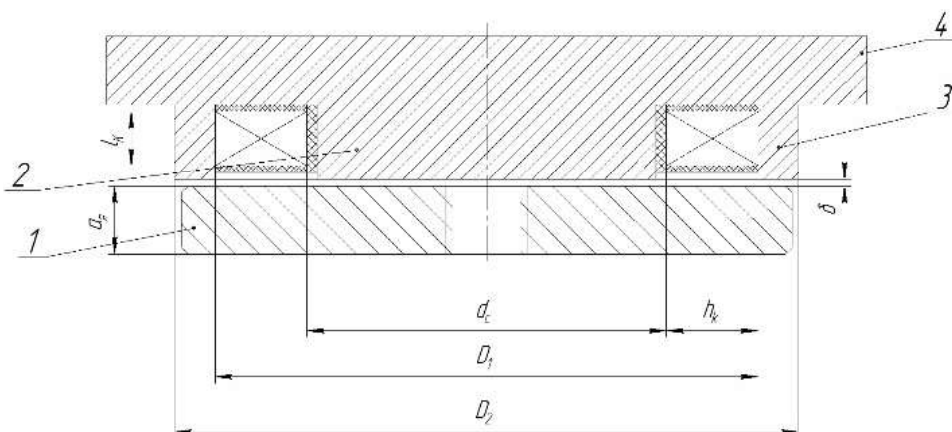
З метою експериментального дослідження динамічних та енергетичних параметрів ПО з ЛЕМД із електромагнітним ПУЯ та процесу вирубування та перфорації деталей на ньому, було розроблено експериментальну установку на основі існуючої конструкції пресового обладнання з ЛЕМД, а також конструкцію електромагнітного утримувача.

Розрахунок електромагнітного утримувача проводився згідно до методики, приведеної у [3], в якій геометричні розміри циліндричного електромагніту із зовнішнім дисковим якорем, що притягується, знаходять, виходячи із заданого тягового зусилля, зазору, робочого струму в обмотці та коефіцієнту розсіювання. Конструкція електромагнітного утримувача приведена на рис.1.

Загальний вигляд пресового обладнання, призначеного для виконання операції вирубування та його конструктивна схема приведені на рис. 2 і 3.

Прес змонтовано на опорі 1, яка зварена з основи і підсилена кутовими елементами - консолю. За допомогою болтів і гайок 28 і 32 до основи прикріплено два швелера 2, зігнутих під прямим кутом. До них чотирма шпильками 35 кріпиться решта конструкції, а саме: плита 7, проміжні диски 8, магнітопровід 10 із вмонтованою у нього котушкою 11, кришка верхня 3, яка приварена до верхньої плити. У отворі, який формують елементи деталей, знаходиться якір 12. З допомогою штока 13, який рухається у втулці 14, якір повертається у вихідне положення в кінці робочого циклу. Повернення якоря в початкове положення здійснює пружина 15, яка діє на диск 16, що закріплений на штокові 13 гайкою 29 і одночасно служить у якості осердя утримуючого магнітопроводу 4, який змонтовано на стакані 17. Поступальний рух якоря передається штоком 18, підпружиненим пружиною 20, який рухається у втулці 19 і ударнику 22.

Прес для вирубування працює наступним чином. Матеріал, з якого будуть вирубуватися деталі взуття, розміщають на вирубочній плиті 23. Від матеріалу плити залежить якість вирубування: якщо плита із м'якого матеріалу, то різак занурюється у неї (на 1-2 мм), що забезпечує надійне вирубування деталі. Металева плита не дозволяє проводити занурення різака (оскільки він швидко затупиться), тому можливе неповне вирубування. Зверху на матеріал встановлюють різак, контур ріжучої частини якого співпадає із формою майбутнього виробу.



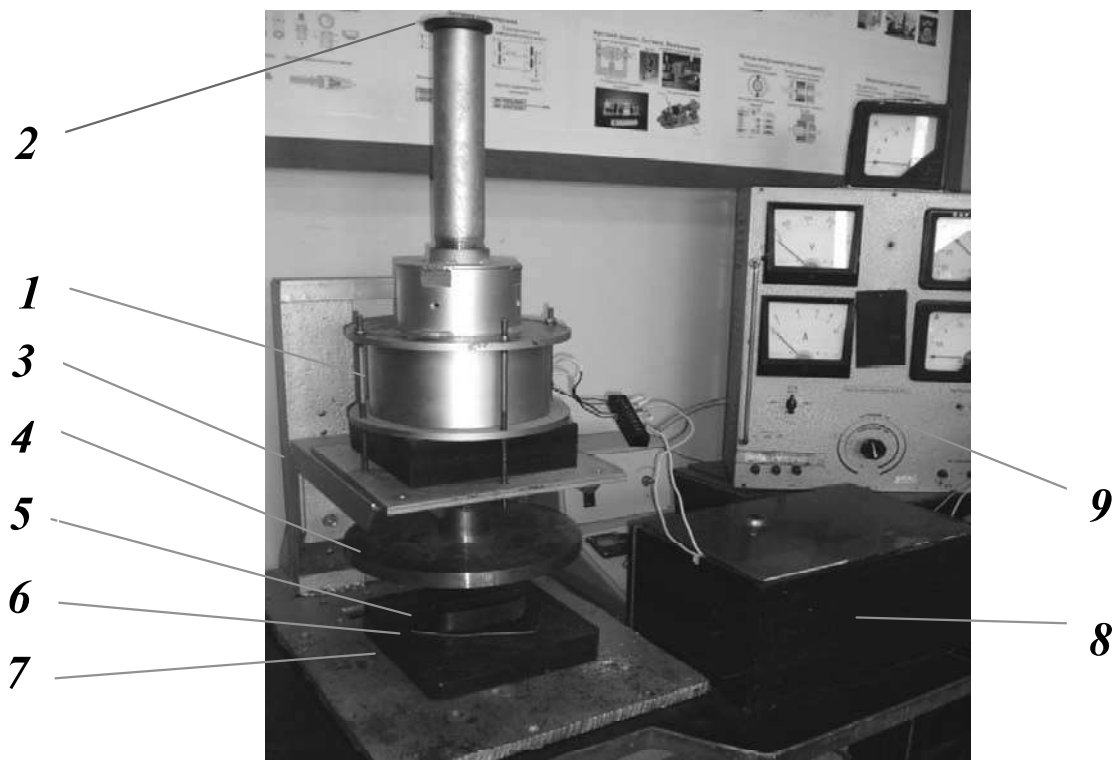
**Рис. 1. Циліндричний електромагнітний утримувач з дисковим якорем, що притягується:
1 – якір; 2 – осердя; 3 – корпус; 4 – фланець**

Для приведення преса у дію на робочу обмотку 11, яка закріплена у магнітопроводі, подають напругу живлення. Струм, що тече по котушці, викликає появу електромагнітної сили, яка намагається зрушити якір 12. Одночасно із увімкненням основної котушки подається напруга на утримуючий електромагніт 4. Виникає сила притягування, яка утримує осердя 12 від опускання через дисковий якір 16, шток 13. Пружина 15 також створює опір опусканню якоря.

Коли струм в котушці основного електромагніта перевищує певне значення, автоматика вимикає живлення утримуючого електромагніта і осердя 12 рухається вниз. При цьому стискається зворотна пружина 15, розтискається гальмівна пружина 20, шток 18 разом із ударником 22 рухаються вниз. Ударяючи по різаку ударник 22 надає йому потрібну для різання кінетичну енергію, рухаючись разом із ним деякий час, що залежить від налагодження зворотної пружини і накопиченої енергії удару. Після того, як різак торкнувся металевої вирубної плити або занурився в полімерну, починається зворотній рух системи під дією пружини 15. Щоб уникнути ударів гальмівна пружина 22 поглинає частину енергії зворотного руху. Ударник повертається у вихідне положення і цикл повторюється знову.

При розробці пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним ПУЯ для експериментальної установки, було використано наступні вихідні дані.

Вихідні дані ЛЕМД: тип електромагнітного двигуна – втяжний зі стопом; вид струму – постійний; спосіб здійснення робочого ходу – однією обмоткою; спосіб здійснення холостого ходу – за рахунок енергії пружини; регулювання основних параметрів – за рахунок зміни параметрів джерела живлення; охолодження – природне повітряне.



**Рис. 2. Загальний вигляд пресового обладнання з ЛЕМД: 1 – лінійний електромагнітний двигун;
2 – пристрій утримування якоря; 3 – консоль; 4 – ударник; 5 – різак; 6 – матеріал; 7 – вирубна плита; 8 – блок живлення та управління; 9 – ЛАТР**

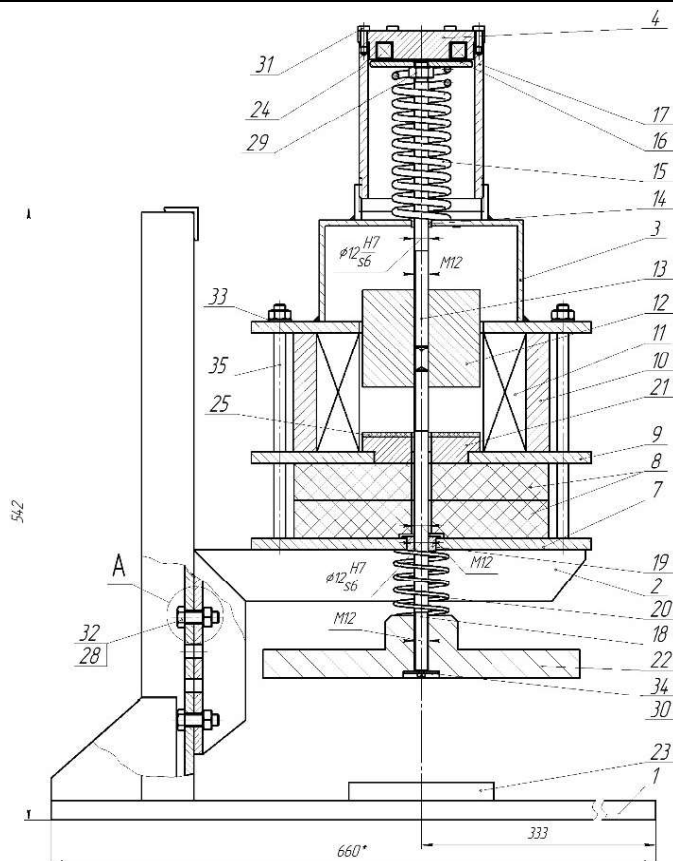


Рис. 3. Конструктивна схема пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним утримувачем

Вихідні дані пресового обладнання з ЛЕМД: принцип роботи пресового обладнання – прес та прес-молот; режим роботи – одиночний; величина робочого ходу, мм – до 30; частота ударів в хвилину – до 30 в хвилину; конструктивне виконання – настільне; розміщення робочого органу – вертикальне.

Вихідні дані електромагнітного утримувача: тип електромагніта – втяжний з дисковим осердям; вид струму – постійний; спосіб здійснення робочого ходу – однією обмоткою; режим роботи – одиночний; регулювання основних параметрів – за рахунок зміни параметрів джерела живлення; охолодження – природне повітряне.

Параметри пресового обладнання для даної експериментальної установки були розраховані відповідно до рекомендацій викладених в технічній літературі [1, 2, 4]. З врахуванням вихідних та розрахункових даних ЛЕМД має наступні основні параметри: максимальну електромагнітну силу $F_{em}=15300$ Н; хід якоря $\delta_{як}=30$ мм; діаметр якоря $d_{як}=70$ мм; висоту двигуна $L_{ов}=175$ мм; діаметр проводу $d_{пр}=2,5$ мм; число витків котушки $w=695$; опір котушки $R=0,4$ Ом.

З метою якісного забезпечення проведення наукових досліджень розробленого пресового устаткування використано апаратно-програмні засоби компанії National Instruments [5]. В блок вимірювальної апаратури входили: аналоговий датчик; модуль узгодження сигналів; плата збору даних; електронно-обчислювальна машина для запису осцилограм сили удару ударника пресового обладнання, технологічного зусилля вирубування, що змінюються в часі; лабораторний автоматичний трансформатор (ЛАТР).

На розробленій установці було проведено експериментальне дослідження оптимального режиму роботи пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним ПУЯ. З цією метою було проведено планування експерименту. З метою вибору досліджуваних параметрів, основних факторів та схеми планування експерименту, був проведений аналіз апріорної інформації [6]. На основі цього аналізу, було обрано технологічне зусилля вирубування, як досліджуваний параметр. Вибір цього параметра пояснюється тим, що від максимального зусилля вирубування залежить величина та інтенсивність зношення ріжучої кромки різача, що в свою чергу впливає на якість вирубування, а також вибір основних конструктивних параметрів пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном. Як основні фактори обрані параметри, що мають місце при реальному процесі переміщення якоря електромагнітного двигуна: положення якоря двигуна відносно стопа; маса якоря; величина переміщення якоря.

В результаті експериментальних досліджень було проведено визначення величини сили удару залежно від зазору δ . По отриманим експериментальним даним було побудовано графік (рис. 4), який показує залежність величини сили удару електромагнітного двигуна від положення якоря двигуна відносно стопа.

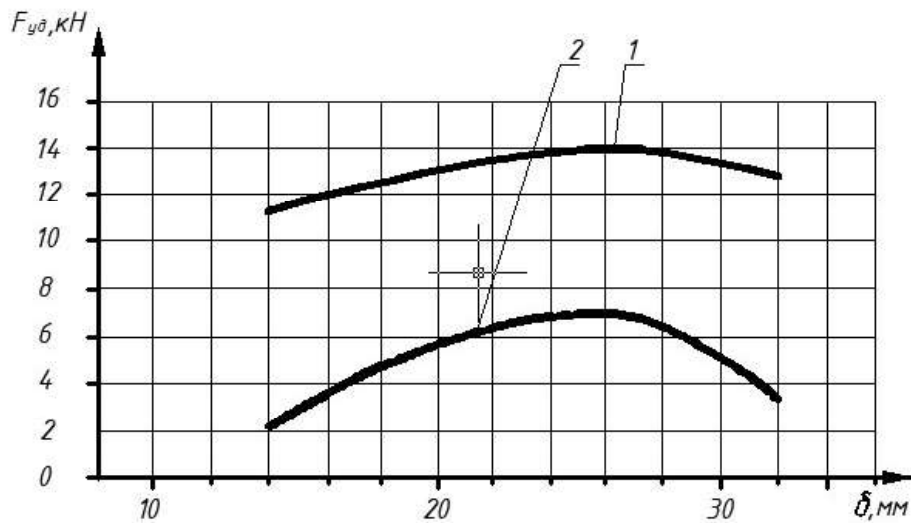


Рис. 4. Залежність сили удару від зазору δ між якорем двигуна і стопом: 1 - сила удару ЛЕМД з пристроєм утримання якоря; 2 - сила удару ЛЕМД без пристрою утримання якоря

Проаналізувавши криві на даному графіку можна зробити висновок, що оптимальний зазор δ становить 26 мм.

Далі було проведено дослідження значення сили удару $F_{уд}$ залежно від маси та величини розгону якоря. По отриманим експериментальним даним було побудовано графік (рис. 5), який показує залежність величини сили удару електромагнітного двигуна від положення якоря двигуна відносно стопа при різних масах якоря.

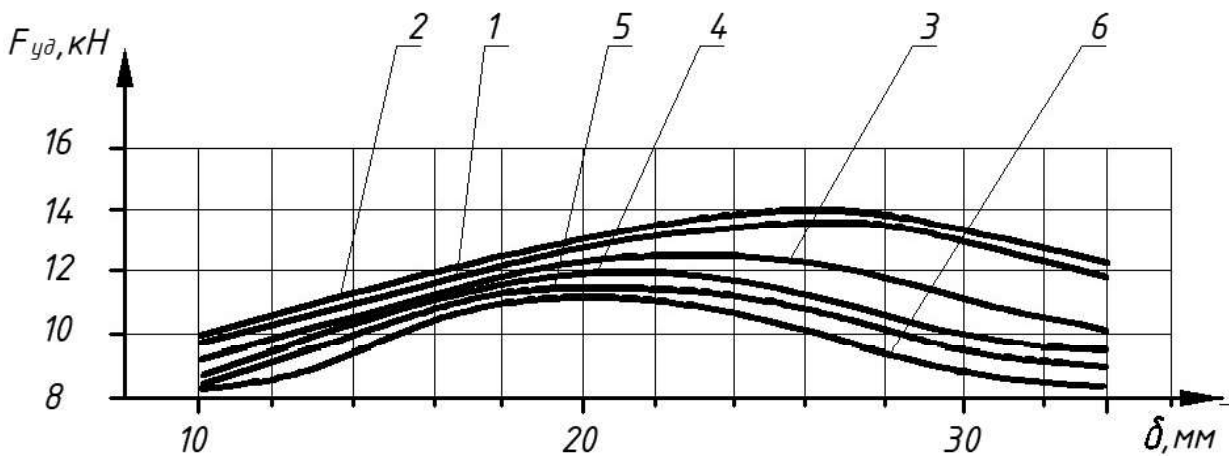


Рис. 5. Залежність сили удару від переміщення якоря: 1 – маса якоря 23 кг; 2 – маса якоря 24 кг; 3 – маса якоря 25 кг; 4 – маса якоря 26 кг; 5 – маса якоря 27 кг; 6 – маса якоря 28 кг

Проаналізувавши дані графіків (рис. 5) було зроблено висновок, що оптимальна величина переміщення якоря лежить в межах 24–28 мм, а оптимальна маса якоря становить 24 кг.

Динамічні характеристики ЛЕМД з пристроєм утримання якоря визначалися по методиці викладеній в [2]. Експериментально знімалась залежність $F_{ум} = f(I_{ум})$. Для цього при кожному фіксованому значенні постійного струму в обмотці утримуючого електромагніту (рис.1) його дисковий якор відривався від осердя обертанням натискного гвинта. Зусилля відриву дискового якоря вимірювалось зразковим динамометром ДОСМ-0,5. Початкове положення і величина ходу δ якоря ЛЕМД змінювалась шляхом викручування стакана 17, на який опирається ПУЯ. Осцилограми напруги, прикладеної до обмотки ЛЕМД, струму в його обмотці, ходу якоря знімалися по методиці, описаній в [1] при варіюванні $F_{ум}$, δ , U , t .

Із отриманих осцилограм визначалися часові параметри циклу: час зрушування (утримання) $t_{ум}$, руху $t_{рух}$, робочого ходу $t_{рх} = t_{ум} + t_{рух}$; середня $V_{сер}$ і кінцева V_k швидкості якоря, енергія удару

$$W_2 = \frac{mV_k^2}{2} \quad (m - \text{маса рухомих частин ЛЕМД}), \text{ споживана із мережі енергія } W_1, \text{ струм зрушування } I_{ум},$$

максимальний струм I_{max} , ККД $\eta = \frac{W_2}{W_1}$).

Із отриманих результатів випливає, що утримування якоря на етапі зрушування викликає збільшення швидкості якоря, енергії удару, значень максимального струму I_{max} і струму утримування (зрушування) I_{ym} . В результаті збільшення часу утримування t_{ym} , час руху t_{pux} знижується, час робочого ходу незначно зростає.

Залежності максимального струму I_{max} і струму утримування I_{ym} від зусилля утримування якоря ЛЕМД на початку робочого циклу зображені на рис.6, а. зі збільшенням F_{ym} струми I_{max} і I_{ym} зростають, що приводить до підвищення в магнітному полі ЛЕМД енергії, що запасається, зусилля на якорі, ККД і механічної роботи ЛЕМД за цикл.

Збільшення сили утримування F_{ym} приводить до зростання часу утримування t_{ym} (рис. 6, б), час руху t_{pux} знижується, так як якір ЛЕМД рухається прискорено під дією більшої електромагнітної сили ЛЕМД, а час робочого ходу t_{px} також зростає. Середня $V_{сер}$ та кінцева V_k швидкості якоря ЛЕМД зростають при збільшенні F_{ym} , причому ріст кінцевої швидкості тим більше, чим більший робочий зазор ЛЕМД. Ефективність використання пристрою утримування якоря виявляється при дослідженні енергетичних характеристик, аналіз яких представляє особливий інтерес. Криві рис.7, а свідчать, що енергія удару $A_{y\delta}$ ЛЕМД зростає із збільшенням сили утримування F_{ym} , що створюється пристроєм утримування якоря на початку робочого ходу. Криві побудовані для фіксованих значень початкового робочого зазору ЛЕМД $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3$. При максимальному початковому зазорі δ_1 використання пристрою утримування якоря дозволяє, як видно на рис.7, а більш ніж в 4 рази підвищити енергію удару двигуна.

На рис.7, б показані криві ККД досліджуваного ЛЕМД з пристроєм утримування якоря. При максимальному робочому зазорі δ_1 ККД зростає зі збільшенням F_{ym} більш, ніж в 2 рази. Збільшення ККД пояснюється наступним. Протягом часу утримування t_{ym} якір ЛЕМД з пристроєм утримування якоря нерухомий. Електромагнітна сила двигуна $F_{ел}$ менше сили утримування якоря, на цьому етапі відбувається накопичення енергії джерелом живлення в магнітному полі ЛЕМД. Даний процес при нерухомому якорі відбувається інтенсивніше, ніж при рухомому, так як проти ЕРС руху рівна нулю і не перешкоджає наростанню струму та магнітного потоку ЛЕМД.

На етапі руху після відриву якоря відбувається перетворення накопиченої енергії магнітного поля ЛЕМД в механічну і поповнюється запас магнітної енергії. Так як рух якоря ЛЕМД відбувається з більшими, ніж без пристрою утримування якоря, швидкостями, ЕРС руху і ККД на цьому етапі зростають.

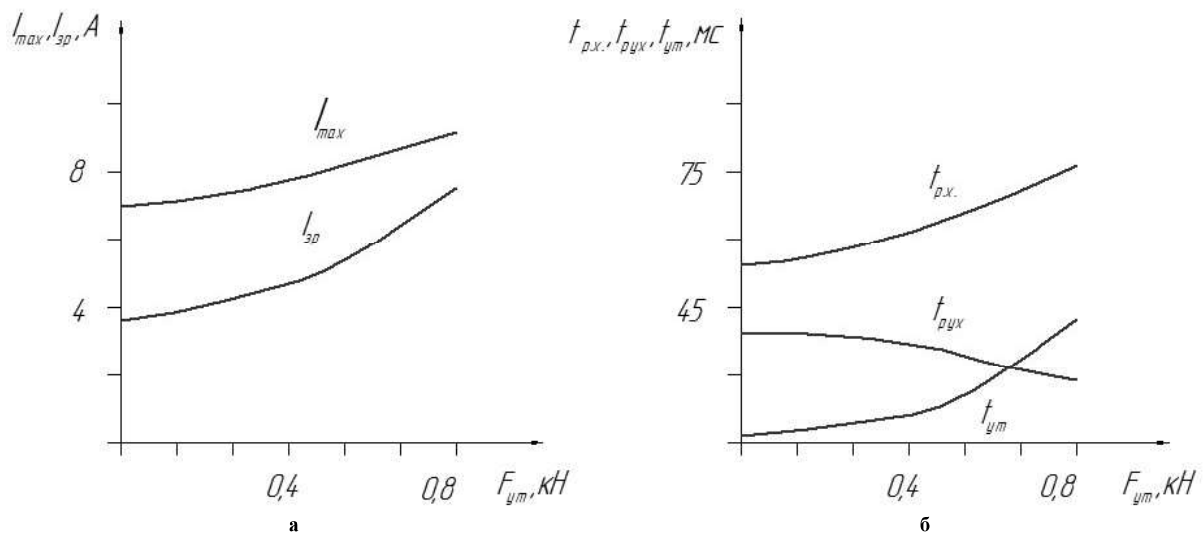


Рис. 6. Вплив сили утримання на струм і часові характеристики ЛЕМД

Дослідження показують, що застосування пристрою утримування якоря ЛЕМД дозволяють приблизно в 4 рази підвищити енергію удару при тій же частоті ходів. Середній рівень сумарних втрат в ЛЕМД і його тепловий режим залишаються незмінними за рахунок підвищення ККД майже в 2 рази.

Проведенні дослідження показали, що використання пристрою утримання якоря в силових ЛЕМД різного призначення з навантаження в кінці ходу дозволяє суттєво підвищити їх питомі енергетичні показники, ККД і швидкість якоря.

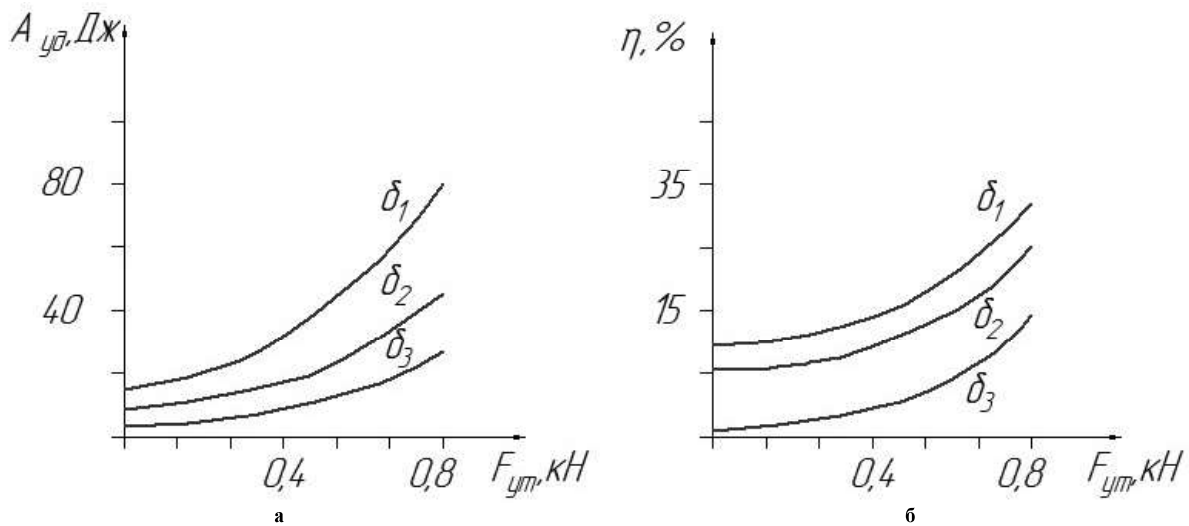


Рис. 7. Вплив сили утримання якоря F_{ym} на енергетичні характеристики ЛЕМД

В роботі [1] проводилися дослідження по знаходженню технологічних особливостей швидкісного вирубування деталей взуття, а саме чистоти торцевої поверхні деталі. В ній відмічається, що якість лінії різку визначається декількома показниками, а саме: надійністю розділення матеріалу, шириною лінії різку, виглядом зрізу і величиною зони деструкції. Відомо, що при вирубуванні та перфорації деталей взуття з натуральної шкіри на гідравлічних пресах, утворюється неякісна поверхня зрізу. Одним із параметрів, що впливає на якість зрізу матеріалу, на нашу думку, є швидкість занурення робочого інструменту (різака) в матеріал. Робочий ударник пресу ПВГ-8-2-0, що використовується для вирубування деталей верху взуття, переміщується зі швидкістю приблизно 0,5 м/с. Також в даній роботі проведені експериментальні дослідження по вирубуванні деталей взуття на пресовому обладнанні з електромагнітним приводом, ударник в якому переміщується зі швидкістю приблизно від 1 до 3 м/с.

Зразки поверхні деталі взуття з натуральної шкіри низу (чепрака) отриманні на даних пресах приведені на рис. 8.

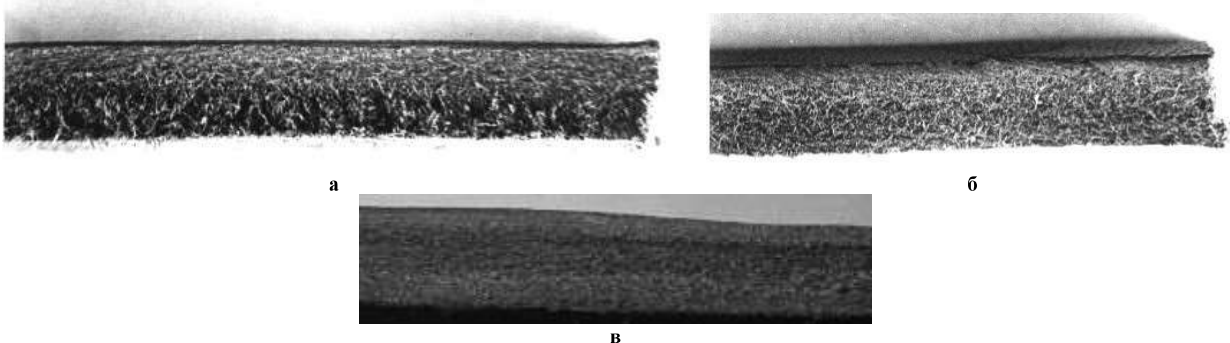


Рис. 8. Зразки поверхні торців деталі низу взуття з натуральної шкіри при вирубуванні: а - на пресі ПВГ-8-2-0; б - на пресовому обладнанні з ЛЕМД; в-б - на пресовому обладнанні з ЛЕМД з електромагнітним ПУЯ

Використання пристрою утримання якоря в пресовому обладнанні з ЛЕМД, як показали експериментальні дослідження дозволили суттєво збільшити швидкість переміщення ударника до 5м/с. Тому були проаналізовані зразки вирубаних деталей при такому швидкісному режимі роботи.

Як видно з них при швидкісному вирубуванні на даному пресовому обладнанні різак різє матеріал на всю його товщину (рис. 8, в). Це ще раз підтвердило гіпотезу про те, що при швидкісному вирубуванні не встигає розвиватися випереджаюча тріщина. Торцеву поверхню отримують рівною і гладкою.

Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження режимів роботи пресового обладнання з ЛЕМД дали змогу знайти оптимальний режим роботи. Було знайдено оптимальне положення якоря та масу ударника для даного пресового обладнання в динамічному режимі, що склало відповідно 26 мм та 24 кг.

2. Використання електромагнітного пристрою утримання якоря (у вигляді електромагніта із зовнішнім дисковим якорем) в пресовому обладнанні з ЛЕМД призначеного для операцій легкої промисловості з навантаженням в кінці ходу дозволяє суттєво підвищити його питомі енергетичні показники, ККД і швидкість якоря.

3. Збільшення швидкості ударника не дає можливості розвиватися випереджаючій тріщині в матеріалі перед різак. В результаті поверхню деталі взуття отримують кращої чистоти, що в свою чергу веде до підвищення якості взуттєвих виробів.

Література

1. Поліщук О. С. Підвищення ефективності застосування пресового обладнання в легкій промисловості : дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.10 / Поліщук Олег Степанович. – К., 2001. – 155 с.
2. Ряшенцев Н.П. Электромагнитные прессы / Ряшенцев Н.П. – Новосибирск : Наука, СО, 1989. – 216 с.
3. Попович М.Г. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод (теорія і практика) : навчальний посібник / Попович М.Г., Кострицький В.В. – К. : КНУТД, 2008. – 408 с.
4. Ефимов И.Г. Линейный электромагнитный привод / Ефимов И.Г., Соловьев А.В., Викторов О.А. – Л. : Издательство Ленинградского университета, 1990. – 212 с.
5. Поліщук О.С. Використання інформаційних технологій "National Instruments" для лабораторних і наукових досліджень машин легкої промисловості та електропобутової техніки / О.С. Поліщук, С.Л. Горященко, Д.В. Прибега // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2 – С. 175–180.
6. Поліщук О.С., Кармаліта А.К. Дослідження оптимального режиму роботи електромагнітного пресу, призначеного для виконання операції вирубування деталей взуття та визначення його енергетичних параметрів / О.С. Поліщук, А.К. Кармаліта // Вісник технологічного університету Поділля". – Хмельницький : ТУП, 2000. – № 5, Ч. 1. – С. 17–20.

References

1. Polishchuk O. S. Pidvyshchennia efektyvnosti zastosuvannya presovoho obladnannia v lehkii promyslovosti : dys. ... kandydata tekhn. nauk : 05.05.10 / Polishchuk Oleh Stepanovych. – K., 2001. – 155 s.
2. Ryashentsev N.P. Elektromagnitnyie pressyi / Ryashentsev N.P. – Novosibirsk : Nauka, SO, 1989. – 216 s.
3. Popovych M.H. Elektromekhanichni systemy avtomatyzatsii ta elektropryvod (teoriiia i praktyka) : navcha-lnyi posibnyk / Popovych M.H., Kostrytskyi V.V. – K. : KNUTD, 2008. – 408 s.
4. Efimov I.G. Lineyniy elektromagnitnyiy privod / Efimov I.G., Solovov A.V., Viktorov O.A. – L. : Izdatelstvo Leningradskogo universiteta, 1990. – 212 s.
5. Polishchuk O.S. Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii "National Instruments" dlia laboratornykh i na-ukovykh doslidzhen mashyn lehkoi promyslovosti ta elektropobutovoi tekhniki / O.S. Polishchuk, S.L. Horiashchenko, D.V. Prybeha // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – 2008. – № 2 – S. 175–180.
6. Polishchuk O.S., Karmalita A.K. Doslidzhennia optymalnogo rezhymu roboty elektromagnitnogo presu, pryznachenoho dlia vykonannia operatsii vyrubuvannia detalei vzuttia ta vyznachennia yoho enerhetychnykh parametriv / O.S. Polishchuk, A.K. Karmalita // Visnyk tekhnolohichnogo universytetu Podillia". – Khmelnytskyi : TUP, 2000. – № 5, Ch. 1. – S. 17–20.

Рецензія/Peer review : 08.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 06.07.2018 р.
Рецензент: к.т.н., проф. Кармаліта А.К.

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИВОДУ КУХОННОГО КОМБАЙНУ

В роботі запропоновано розробку удосконаленої системи керування електроприводом кухонних комбайнів. Теоретично обґрунтовано можливість ефективного використання системи керування електродвигуном кухонного комбайну зі зворотним за швидкістю і струмом якоря, розроблено електричну схему і визначено її необхідні електричні і конструктивні параметри. Виконано розрахунки потужності, що споживається при різних режимах роботи машини, розрахунок найбільш прийняттого передаточного відношення приводу і параметри зубчатої пасової передачі. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення конструкцій побутових кухонних комбайнів.

Ключові слова: кухонні комбайни, універсальний колекторний двигун, датчик швидкості, структурна схема, електрична схема, аналіз ефективності режимів роботи, схема керування.

V.P. MISIATS

Kyiv National University of Technologies and Design

S.P.LISEVYCH, O.S.POLISCHUCK, S.V.SMUTKO, S.I. PUNDYK

Khmelnytsky national University

ANALYTICAL RESEARCHES OF THE KITCHEN COMBINE DRIVING WORK

Abstract – The article presents the results of researches is development of the improved control of kitchen combines system. Depending on the type of processing, the mechanical properties of food and the tool used, the speed and the moment of resistance on the drive shaft are different. Modern food processors are mainly equipped with drives based on universal collector electric motors, which is due to a number of advantages over asynchronous and DC motors. As a result of the analytical study, formulas are obtained that allow determining the power consumption and productivity of the food processor when cutting food products depending on the geometric and structural parameters of the working bodies and the physical and mechanical characteristics of the processed material. In drive possibility of the effective use of the control the electric motor of kitchen system to the combine with reverse after speed and current of anchor, an electric chart is developed and certainly her electric and structural parameters are needed. The calculations of power which is consumed at the different modes of operations of machine, calculation of the most acceptable transmission relation of occasion and parameters of gearing of pass, are executed. Can be drawn on research results for perfection of constructions of domestic kitchen combines. Originality consists in that first in theory drive possibility of the effective use of the control the electric motor of kitchen system to the combine with reverse after speed and current of anchor, an electric chart is developed and certainly her electric and structural parameters are needed. It was found that the electric drive of the food processor will work with a maximum efficiency (55%) when using a disc for cutting vegetables and fruits which has diametrically opposite knives. Practical value consists in that can be drawn on research results for perfection of constructions of domestic kitchen combines.

Keywords: kitchen combines, universal collector engine, sensor of speed, flow diagram, electric chart, analysis of efficiency of office hours, management chart.

Вступ

Кухонні комбайни виконують різні робочі операції і оснащені для цього цілим рядом насадок і робочих органів. В залежності від виду обробки, механічних властивостей харчових продуктів і використовуваного інструменту швидкість обертання і момент опору на валу приводу різні. Сучасні кухонні комбайни переважно оснащені приводами на основі універсальних колекторних електродвигунів, що обумовлено рядом їх переваг у порівнянні з асинхронними і двигунами постійного струму. Універсальні колекторні двигуни мають характеристики, що дозволяють керування приводом на їх основі в широких межах [1].

Більшість кухонних комбайнів мають конструкцію, що стала традиційною. Основою її є привод, що має досить потужний електродвигун з передаточним механізмом, вісь якого виведена назовні. Вісь проходить через знімну чашу, і на ній жорстко закріплюються різні ножі і змінні насадки. Іноді є додаткові бічні вали для підключення різних допоміжних пристосувань.

Двигуни, що приводять в рух насадки, у різних моделей мають різні швидкості обертання і потужність. Чим вище швидкість обертання, тим більше можливостей у апарату, бажане також плавне або ступінчасте регулювання швидкості [2]. Лише у найдешевших комбайнів вона фіксована. У конструкції передбачається блокування включення із знятою кришкою або погано закріпленою чашею.

Продуктивність комбайна залежить від потужності двигуна і розмірів чаші, в яку закладаються продукти. Одним з напрямків розвитку кухонних комбайнів є вдосконалення електромеханічних систем електроприводу.

Постановка завдання

Різні види обробки харчових продуктів в кухонних комбайнах вимагають своїх раціональних режимів роботи приводу при постійній, заданій швидкості. Для регулювання швидкості і покращення роботи електроприводу в роботі запропоновано його удосконалення шляхом оснащення системою керування зі зворотним зв'язком по швидкості і струму в колі електродвигуна. Відомі моделі кухонних комбайнів такими системами не оснащені.

Коефіцієнт "2" в формулі (1) введений через те, що при різанні куска продукту на дві частини утворюється подвійна площа поверхні розділу.

Ведемо в формулу (1) коефіцієнт, який враховує можливість часткового перекриття робочого отвору різальними кромками (рис.2).

Коефіцієнт перекриття робочого отвору різальними кромками:

$$i = \frac{L_{бш} - l_1(j-1)}{L_{бш}}, \quad (2)$$

де $L_{бш}$ – ширина робочого отвору;

L_p – довжина різальної кромки, що припадає на робочий отвір;

j – кількість різальних кромок, що припадає на площу робочого отвору;

l_1 – відстань між різальними кромками.

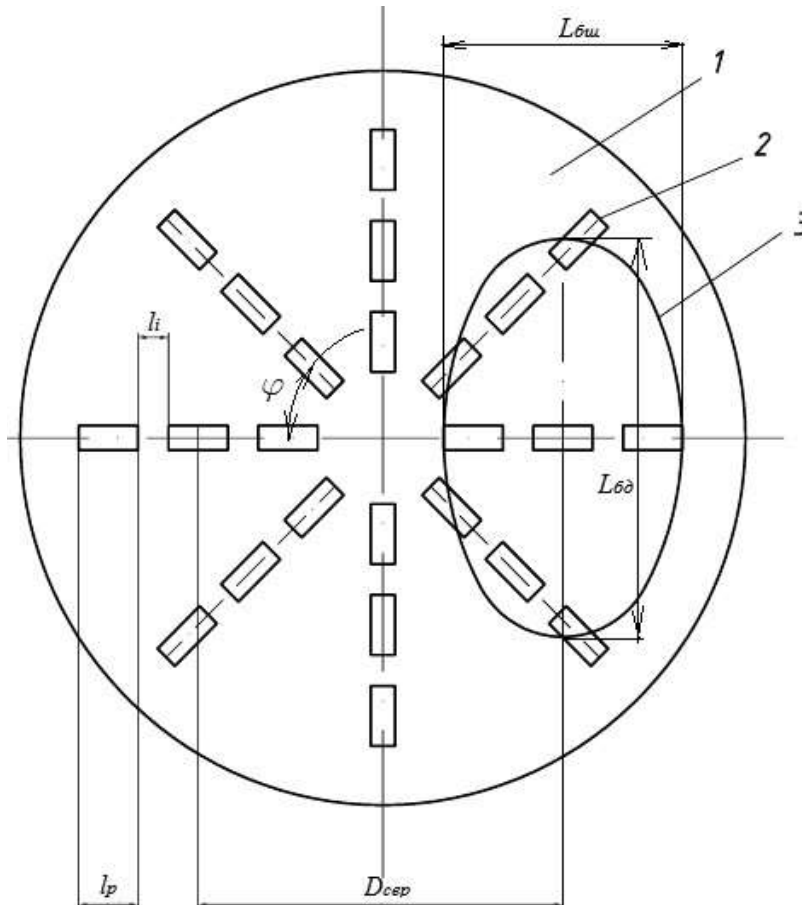


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення коефіцієнта перекриття робочого отвору різальними кромками

Перепишемо рівняння (1) з врахуванням i :

$$N_{кор} = 2 \cdot A_{пит} \cdot k_{зап} \cdot \omega \cdot F_{зав} \cdot i. \quad (3)$$

Продуктивність процесу нарізання продуктів може бути визначена за формулою [3]:

$$Q = k_{зан} \cdot V \cdot \omega \cdot \rho, \quad (4)$$

де Q – продуктивність, г/с;

ρ – густина продукту;

V – об'єм продукту, що надрізається за один оборот диска.

$$V = F_{зав} \cdot h, \quad (5)$$

де h – висота виступу ріжучих кромок.

Підставимо (5) в (4):

$$Q = k_{зан} \cdot F_{зав} \cdot h \cdot \omega \cdot \rho \cdot i, \quad (6)$$

Потужність, що витрачається на тертя матеріалу по поверхні диска:

$$N_{тер} = P_{ст} \cdot f_{тер} \cdot \omega \cdot \frac{D_{сеп}}{2}, \quad (7)$$

де $f_{\text{тер}}$ – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні диска;
 $P_{\text{ст}}$ – зусилля, обумовлене тиском матеріалу на поверхню диска.
 Зусилля $P_{\text{ст}}$ визначається за формулою:

$$P_{\text{ст}} = F_{\text{зав}} \cdot H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot k_{\text{зап}} + P_{\text{руч}}, \quad (8)$$

де $H_{\text{зав}}$ – висота продукту в бункері;
 $P_{\text{руч}}$ – сила, з якою користувач давить на шток при поданні матеріалу.
 З урахуванням (8) перепишемо (7) у вигляді:

$$N_{\text{тер}} = (F_{\text{зав}} \cdot H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot k_{\text{зап}} + P_{\text{руч}}) \cdot f_{\text{тер}} \cdot \omega \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2}. \quad (9)$$

Загальна потужність, що споживається при різанні:

$$N = \frac{(N_{\text{кор}} + N_{\text{тер}})}{\eta_{\text{прив}}}, \quad (10)$$

де $\eta_{\text{прив}}$ – ККД, приводу.
 Враховуючи (3) і (9), (10) має вигляд:

$$N = 2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \omega \cdot F_{\text{зав}} \cdot i + (F_{\text{зав}} \cdot H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot k_{\text{зап}} + P_{\text{руч}}) \cdot f_{\text{тер}} \cdot \omega \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2}. \quad (11)$$

Користувач вимушений збільшувати силу $P_{\text{руч}}$ по мірі опускання штоку через те, що при повністю заповненому бункері сили від тяжіння продукту максимальні.

Тому, при повністю завантаженому бункері силу $P_{\text{руч}}$ можна не враховувати.

Тоді рівняння (11) приймає вигляд:

$$N = \omega \cdot F_{\text{зав}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \left(2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot i + H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot f_{\text{тер}} \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2} \right). \quad (12)$$

Робочий отвір кухонних комбайнів як правило має форму еліпса. Його площа визначається формулою:

$$F_{\text{зав}} = \frac{\pi}{4} \cdot L_{\text{бш}} \cdot L_{\text{бд}}, \quad (13)$$

Підставляємо (13) в (12), (6), отримуємо формули для розрахунку потужності, що витрачається на різання і продуктивності кухонного комбайну при нарізанні продуктів:

$$N = \omega \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L_{\text{бш}} \cdot L_{\text{бд}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \left(2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot i + H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot f_{\text{тер}} \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2} \right); \quad (14)$$

$$Q = k_{\text{зап}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L_{\text{бш}} \cdot L_{\text{бд}} \cdot h \cdot \omega \cdot \rho \cdot i. \quad (15)$$

Момент опору на валу робочого органу може бути визначений за формулою:

$$M_{\text{оп}} = \frac{\pi}{4} \cdot L_{\text{бш}} \cdot L_{\text{бд}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot \left(2 \cdot A_{\text{пит}} \cdot i + H_{\text{зав}} \cdot \rho \cdot f_{\text{тер}} \cdot \frac{D_{\text{сер}}}{2} \right). \quad (16)$$

Отримана формула (16) дозволяє визначати середнє значення моменту опору при різанні. Максимальний момент опору буде мати місце при $i=1$, тобто при умовах, коли ніж суцільний по ширині вікна бункера і кількість ножів така, що в зоні різання постійно знаходиться один з них.

Визначимо теоретичні залежності $N = f(\omega)$ і $Q = f_2(\omega)$ для крупного шинкування моркви, яка є одним з найбільш "важких" овочів.

При розрахунку використовуємо наступні параметри для моркви [1]:

$$A_{\text{пит}} = 350 \text{ Н/м}; \quad \rho = 1,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \quad f_{\text{тер}} = 0,1 \text{ (по сталі)}; \quad k_{\text{зап}} = 0,7 \dots 0,9.$$

Висота розташування ріжучих кромки відносно опорної поверхні робочого органу становить $h = 2 \dots 3$ мм [6]. Приймаємо $h = 2,5$ мм.

При розрахунку максимальної корисної потужності розглянемо процес різання кромкою, що повністю перекриває робочий отвір, тобто $i_{\text{ш}} = 1$. Висота $H_{\text{зав}} = 220$ мм. $D_{\text{сер}} = 90$ мм.

При різанні суцільною різальною кромкою ($n_p = 1$). Тоді $l_p = L_{\text{бш}}$.

$$M_{\text{опmax}} = \frac{3,14}{4} \cdot 0,04 \cdot 0,06 \cdot 0,8 \cdot \left(2 \cdot 350 \cdot 1 + 0,22 \cdot 1,3 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot \frac{0,09}{2} \right) = 1,07 \text{ Н·м.}$$

Максимальна потужність при безперервному різанні:

$$N_{\max} = M_{\text{опmax}} \cdot \omega. \tag{17}$$

Визначимо кількість ножів m_{\max} , які забезпечують максимальну потужність ($i = 1$). Кількість ножів повинна становити:

$$m_{\max} = \frac{\pi D_{\text{ср}}}{L_{\text{бд}}} = \frac{3,14 \cdot 0,09}{0,06} = 4,71.$$

Кількість ножів може становити: $m = 2; 3; 4$ ($m = 1$ – неможливо, через дисбаланс диска). Тоді потужність:

$$N = N_{\max} \frac{m}{m_{\max}}. \tag{18}$$

$$N(2) = 1,07 \frac{2}{4,71} \omega = 0,446\omega; N(3) = 1,07 \frac{3}{4,71} \omega = 0,669\omega; N(4) = 1,07 \frac{4}{4,71} \omega = 0,892\omega.$$

Робимо висновок, що при нарізанні моркви максимальний момент опору становитиме 0,892 Н·м.

За отриманими формулами можна розраховувати й інші подібні процеси, що відбуваються при роботі кухонного комбайну.

Найбільш раціональними параметрами кухонного комбайну будемо вважати ті, при яких його електропривод буде працювати з максимальним коефіцієнтом корисної дії. Для визначення таких параметрів потрібно знати характеристику електродвигуна і визначити при яких умовах він буде працювати з максимальним ККД.

Аналіз характеристик електродвигуна побутового кухонного комбайну

В приводі кухонного комбайну встановлено електродвигун ДК90-250-12 потужністю 250 Вт і частотою обертання 12000 об/хв.

З характеристик електродвигуна на рис. 3 визначаємо, що з максимальним ККД він працює при значенні моменту 0,1...0,2 Н·м. Частота обертання при цьому становить 10000...12000 об/хв, а споживана потужність 130...170 Вт.

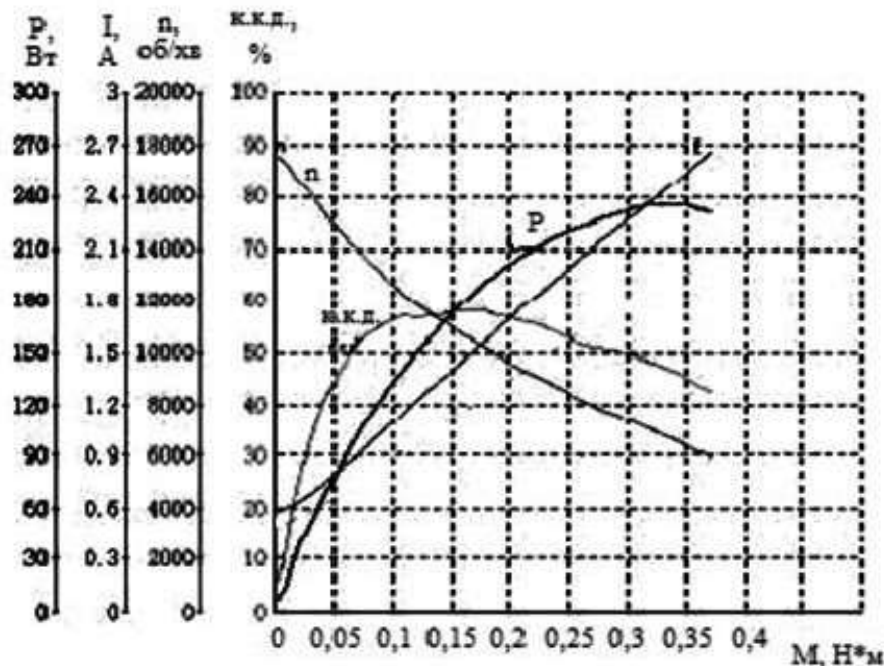


Рис. 3. Робочі характеристики електродвигуна ДК90-250-12

Визначимо верхню границю передаточного відношення зубчастій пасовій передачі приводу кухонного комбайну з умови максимального моменту при максимальній швидкості електродвигуна:

$$u_{\max} = \frac{M_{\text{оп}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{0,892}{0,2} = 4,46.$$

Частота обертання диску при нарізанні продуктів повинна становити 1000...1500 об/хв [3].

Визначимо нижню границю передаточного відношення зубчастій пасовій передачі приводу кухонного комбайну з умови мінімальної частоти обертання двигуна. Найменша можлива стійка частота обертання електродвигуна ДК90-250-12 $n_{\text{об min}} = 2825$ об/хв. Тоді мінімальне передаточне відношення:

$$u_{\min} = \frac{n_{\text{дв min}}}{n_{\text{різ}}} = \frac{2825}{1000} = 2,83.$$

Приймаємо значення передаточного відношення, яке наближено приймемо 3,5.
При $u = 3,5$ максимальна швидкість обертання диску буде:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30 \cdot u}. \quad (19)$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot 12000}{30 \cdot 3,5} = 359 \text{ рад/с (3429 об/хв)}.$$

Цієї швидкості буде достатньо для роботи комбайну в режимі блендера.
Теоретична максимально можлива продуктивність кухонного комбайну при різанні буде становити:

$$Q_{\max} = 0,8 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 0,04 \cdot 0,06 \cdot 0,0025 \cdot 1000 \cdot \frac{3,14}{30} \cdot 1,3 \cdot 10^3 = 0,51 \text{ кг/с}.$$

При кількості ножів 2, 3, 4 теоретична продуктивність становитиме:

$$Q(2) = 0,51 \frac{2}{4,71} = 0,22 \text{ кг/с}; \quad Q(3) = 0,51 \frac{3}{4,71} = 0,33 \text{ кг/с}; \quad Q(4) = 0,51 \frac{4}{4,71} = 0,44 \text{ кг/с}.$$

Реальна продуктивність може буде меншою через нерівномірність попадання продуктів на ножі.
Потужність при кількості ножів 2, 3, 4 становитиме:

$$N(2) = 0,446 \cdot 359 = 160 \text{ Вт}; \quad N(3) = 1,07 \frac{3}{4,71} \omega = 0,669 \cdot 359 = 240 \text{ Вт}; \quad N(4) = 0,892 \cdot 359 = 320 \text{ Вт}.$$

Висновки

В результаті аналітичного дослідження отримано формули, які дозволяють визначати споживану потужність і продуктивність кухонного комбайну при нарізанні харчових продуктів в залежності від геометричних і конструктивних параметрів робочих органів та фізико механічних характеристик оброблюваного матеріалу. Теоретично обґрунтовано можливість ефективного використання системи керування електродвигуном кухонного комбайну зі зворотним за швидкістю і струмом якоря, розроблено електричну схему і визначено її необхідні електричні і конструктивні параметри. Встановлено, що електродвигун приводу кухонного комбайну буде працювати з максимальним ККД (55%) при використанні диску для нарізання овочів і фруктів який має діаметрально протилежні ножі.

Література

1. Кравцевич В.Я., Бондарь Е.С. Современные бытовые электроприборы и машины. / В.Я. Кравцевич, Е.С. Бондарь – М.: Машиностроение, 1987.-224с.: ил
2. Ильинский, Н.Ф. Общий курс электропривода / Н.Ф. Ильинский, В.Ф. Казаченко. М.: Энергоиздат, 1992. 544 с.
3. Соколов В.И. Основы конструирования машин и аппаратов пищевых производств. Учебник для ВУЗов по специальности «Машины и аппараты пищевых производств». М. Машиностроение. 1983. – 447 с.

References

1. Kravceovich V.Ja., Bondar' E.S. Sovremennye bytovye jelektroprybory i mashiny. / V.Ja. Kravceovich, E.S. Bondar' – М.: Mashinostroenie, 1987.-224s.: il
2. Il'inskij, N.F. Obshhij kurs jelektroprivoda / N.F. Il'inskij, V.F. Kazachenko. М.: Jenergoizdat, 1992. 544 s.
3. Sokolov V.I. Osnovy konstruirovaniya mashin i apparatov pishhevyh proizvodstv. Uchebnik dlja VUZov po special'nosti «Mashiny i apparaty pishhevyh proizvodstv». М. Mashinostroenie. 1983. – 447 s.

Рецензія/Peer review : 19.04.2018 р.

Надрукована/Printed :07.07.2018 р.
Рецензент: к.т.н., проф. Кармаліта А.К.