

УДК 621.313.1

БІЛА Т.Я., СТАЦЕНКО В.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ
ПРИВОДАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В
ПОБУТОВОМУ ОБЛАДНАННІ**

Мета. Розробка математичної та комп'ютерної моделей, які дозволять розраховувати витрати електричної енергії та інші робочі параметри електроприводів із двигунами постійного струму, що використовуються у побутовому обладнанні.

Методика. У роботі використані відомі методи математичного моделювання, аналізу перехідних процесів в електромеханічних системах та чисельного розв'язування нелінійних та диференціальних рівнянь.

Результати. Отримано залежності між режимами роботи приводу, фізико-механічними параметрами продуктів, що обробляються, та споживаною потужністю. На основі цих залежностей розроблена комп'ютерна модель в програмному середовищі Simulink.

Наукова новизна. Отримано математичну та комп'ютерну моделі, що дозволяють за відомими фізико-механічними властивостями середовища, яке створює навантаження на робочі органи обладнання, і заданими режимами роботи, визначити електричну потужність та інші робочі параметри приводу.

Практична значимість. Результати розрахунків із використанням моделей, що запропоновані у роботі, дозволяють зробити обґрунтований вибір електродвигунів для заданих умов та режимів роботи обладнання.

Ключові слова: електричний привод, споживання електричної енергії, побутове обладнання, система керування.

Вступ. Сьогодні електропобутове обладнання різноманітних призначень і типів набуло широкого розповсюдження та користується високим попитом, оскільки вирішує важливу соціальних проблему – зменшує фізичні навантаження на людину під час виконання повсякденної роботи. В значній частині такого обладнання для забезпечення руху робочих органів використовуються електричні приводи, в цю категорію відносяться міксери, блендери, кухонні комбайні, кавомолки, соковижималки та ін. [1]. Це зумовлює виникнення проблеми ефективного використання електричної енергії, оскільки кількість таких пристроїв вимірюється мільйонами одиниць. Крім того, часто такі пристрої застосовуються для обробки продуктів, що мають фізико-механічні властивості, які можуть змінюватись у процесі обробки. Такий характер навантаження не дозволяє обрати електродвигуни, які б весь час працювали у режимах близьких до номінальних, тобто із максимальним ККД. Таким чином, актуальною є проблема аналізу роботи приводів побутового обладнання з урахуванням як зміни фізико-механічних параметрів середовища, що обробляється, так і заданої технології його обробки.

Постановка завдання. Метою роботи є створення математичної та комп'ютерної моделей, що дозволяють на основі технічних параметрів двигуна, фізико-механічних властивостей продуктів та законів їх змінювання під час обробки, а також вимог до режимів обробки, визначити робочі параметри приводу та електричну потужність, яку він споживає.

Результати дослідження. В статті розглядається робота обладнання для змішування харчових продуктів, що забезпечує стабілізацію моменту опору середовища, тобто постійну інтенсивність механічної дії на продукти, що обробляються. Вибір обладнання саме цього типу в якості основи для дослідження зумовлений наявністю складних законів зміни в'язкості компонентів, що змішуються, а отже й моменту опору середовища у процесі обробки. Оскільки таке обладнання може використовуватись для змішування продуктів, що мають різні закони зміни в'язкості, та має забезпечувати стабілізацію моменту опору, у модель введено зворотній зв'язок, через який здійснюється корегування напруги на якорі двигуна постійного струму (ДПС), а отже і його швидкості обертання.

Відомо [2], що існує залежність між силою, що діє на робочі органи (силою в'язкого тертя), швидкістю їх руху та в'язкістю середовища, в якому вони рухаються. Ця залежність близька до лінійної при низьких швидкостях руху, коли потік є ламінарним, а при збільшенні швидкості та виникненні турбулентностей визначається за формулою:

$$F_{\sigma} = k\omega^n, \quad (1)$$

де $n = 2, 3,$

k – коефіцієнт, що визначається формою тіла та в'язкістю середовища,
 ω – кутова швидкість обертання.

Оскільки процес змішування відбувається за рахунок перерозподілення потоків, то розглядати лінійну залежність між силою опору та швидкістю обертання є недоцільним. Під час моделювання прийнято, що сила опору є пропорційною квадрату швидкості обертання, тобто $n = 2$.

Враховуючи, що форма робочих органів залишається незмінною і є симетричною відносно вісі обертання, можна вважати, що момент опору середовища прямо пропорційний силі в'язкого тертя. Таким чином:

$$M_{\sigma} = K\omega^n, \quad (2)$$

де K – коефіцієнт, що враховує форму робочого органу та в'язкість середовища.

Для дослідження роботи приводу була обрана відома модель двигуна ДПС [3], що входить до бібліотеки Simscape із пакету Simulink. Зазначену модель ДПС можна представити за допомогою еквівалентної електричної схеми (рис.1), де: R – активний опір кола якоря; U – напруга живлення; L – індуктивність обмоток; U_e – протиЕРС; i – струм кола якоря.

Обертальний момент такого двигуна визначається за формулою:

$$M = \frac{k_t}{R}(U - k_v\omega) - J\omega' - \lambda\omega, \quad (3)$$

де k_b, k_v – конструктивні параметри двигуна;

J – момент інерції ротора;

λ – коефіцієнт демпфування.

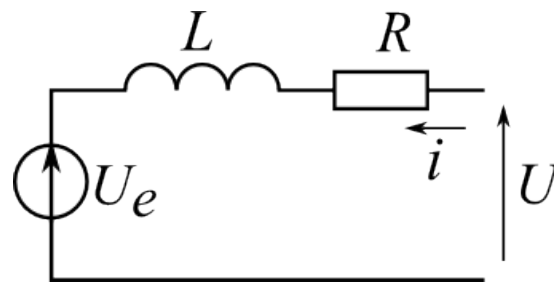


Рис. 1 Розрахункова модель ДПС

Комп'ютерна модель обладнання для змішування продуктів розроблена в середовищі Simulink та наведена на рис.2. Модель складається з двох основних кіл: електричного та механічного. До електричного кола входять ДПС (DC Motor), датчики струму (CS) та напруги (VS), що дозволяють визначити електричну потужність, кероване джерело постійної напруги (CVS) та елементи Add, Add1, torque0, Integrator, Gain, які утворюють зворотній зв'язок. Механічний ланцюг створюють ДПС, датчики швидкості валу (RMS) та обертового моменту (TS). Інерція ротору двигуна задається за допомогою «Інерційного елемента» (Inertia).

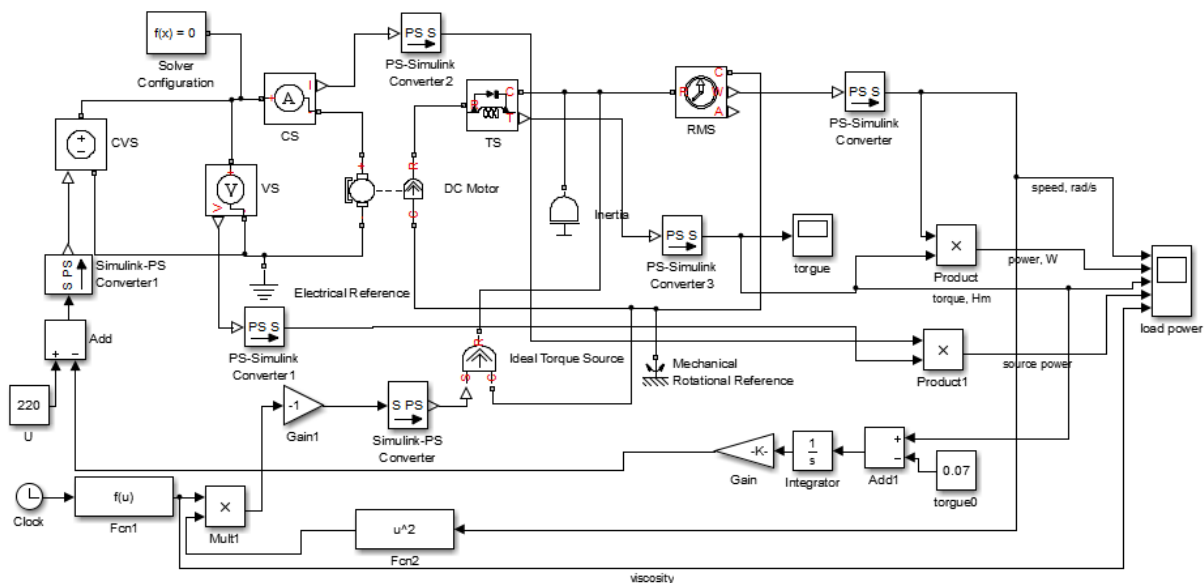


Рис.2 Комп'ютерна модель для дослідження процесу змішування та параметрів приводу.

Величина моменту опору середовища формується за допомогою блоків Clock, Fcn1, Fcn2, Mult, Ideal Torque Source, вхідним параметром для яких є кутова швидкість валу двигуна, при цьому за допомогою блоків Clock та Fcn1 задається функція змінювання в'язкості середовища від часу, а за допомогою блоків Fcn2 та Mult розраховується значення моменту опору за співвідношенням (2). Під час роботи пристрою система керування визначає різницю між поточним і заданим значеннями обертового моменту та відповідно збільшує або зменшує напругу на обмотці якоря двигуна, що приводить до зміни швидкості його обертання і, як наслідок, зміни моменту опору середовища.

Результати моделювання наведені на рис.3. Під час проведення розрахунків прийнято, що в'язкість продуктів зменшується з часом за експоненціальним законом (рис.3,а).

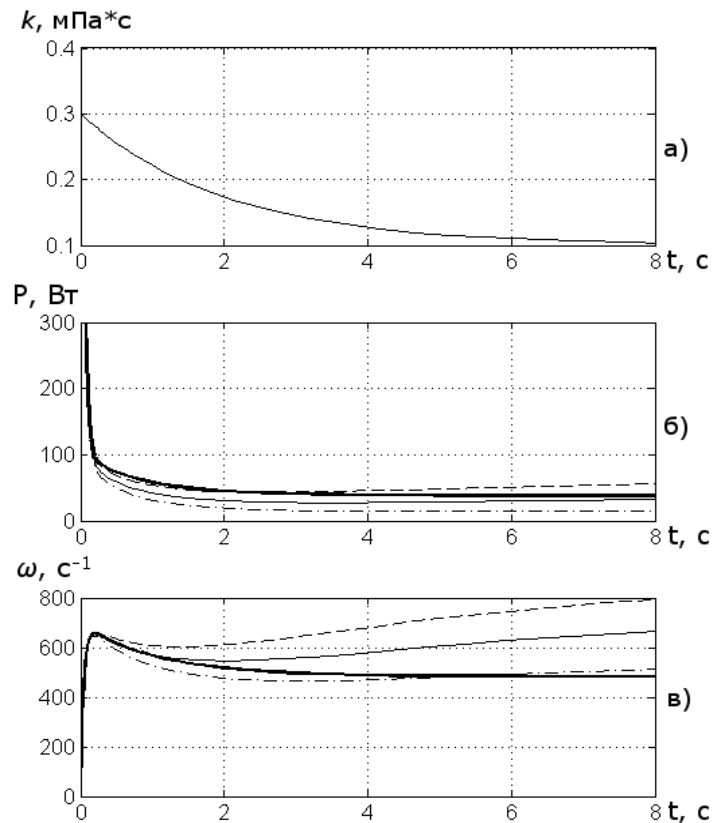


Рис.3 Результати моделювання:

а) залежність коефіцієнту в'язкості від часу; б) залежність потужності, що споживається від часу; в) залежність швидкості обертання валу двигуна від часу

Система керування забезпечує стабілізацію моменту опору під час процесу змішування. На рис.3,б,в наведено графіки зміни швидкості обертання валу ДПС та потужності, що споживається з мережі живлення, від часу. Дослідження проведено для трьох різних значень заданого моменту опору середовища. Суцільною лінією показані графіки, що відповідають заданому значенню $0,05 \text{ Н}\cdot\text{м}$, штрих пунктирною – $0,03 \text{ Н}\cdot\text{м}$, штриховою – $0,07 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Перша ділянка графіків, від 0 до $0,5 \text{ с}$, відповідає пуску двигуна і виходу на усталений режим роботи. Зменшення в'язкості середовища із часом призводить до зменшення моменту опору на валу двигуна, яке фіксує система керування та починає збільшувати швидкість обертання, що в свою чергу призводить до збільшення потужності, яка споживається з мережі живлення. З метою оцінювання впливу зміни в'язкості середовища на споживання електричної енергії, проведено дослідження роботи системи за умови незмінних значень в'язкості ($0,3 \text{ мПа}\cdot\text{с}$) та коефіцієнту опору середовища $0,07 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Результати показані на рис.3,б,в суцільною потовщеною лінією. Модель, що враховує зміну в'язкості, показує на $28,96\%$ більше споживання електричної енергії, тобто ДПС обраний за результатами моделювання за спрощеною моделлю буде працювати з перенавантаженням.

Висновки. Режимы работы двигунів в сучасному побутовому обладнанні суттєво відрізняються від номінальних, і відсутність аналізу навантажень у різних режимах роботи може призвести до нераціонального вибору двигуна й надмірних витрат електричної енергії. Запропоновані у роботі моделі дозволяють розраховувати основні робочі параметри ДПС з урахуванням змінювання фізико-механічних властивостей середовища, що створює навантаження на робочі органи обладнання. Введення в модель закону зміни в'язкості призвело до збільшення точності оцінки споживання електричної енергії на 28,96%. Отримані результати дають можливість оцінити загальні витрати електричної енергії та зробити обґрунтований вибір електричної машини.

Список використаних джерел

1. Електропобутова техніка: Навчальний підручник / [Петко І.В., Бурмістенков О.П., Кострицький В.В. та ін.]. – К.: КНУТД, 2009. – 204 с.
2. Краткий курс физики [Текст] : учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений / Т. И. Трофимова. - 2-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2002. - 352 с.
3. Біла Т.Я., Стаценко В.В., Теремій П.В. Модельовання роботи приводу електропобутових пристроїв у режимах із навантаженням, що різко змінюється. [Електронний ресурс] // Технології та дизайн. - 2014. - №2. - Режим доступу до журн.: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=njuu_all&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=I=&S21COLORTERMS=0&S21STR=EJ000048%2F2014%2F2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА В БЫТОВОМ ОБОРУДОВАНИИ

БЕЛАЯ Т.Я., СТАЦЕНКО В.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Разработка математической и компьютерной моделей, которые позволят рассчитывать расходы электроэнергии и другие рабочие параметры электроприводов с двигателями постоянного тока, используемых в бытовом оборудовании.

Методика. В работе использованы известные методы математического моделирования, анализа переходных процессов в электромеханических системах и численного решения нелинейных и дифференциальных уравнений.

Результаты. Получены зависимости между режимами работы привода, физико-механическими параметрами обрабатываемых продуктов и потребляемой мощностью. На основе этих зависимостей разработана компьютерная модель в программной среде Simulink.

Научная новизна. Получена математическая и компьютерная модели, позволяющие по известным физико-механическим свойствам среды, создающей нагрузки на рабочие органы оборудования, и заданным режимам работы, определять электрическую мощность и другие рабочие параметры привода.

Практическая значимость. Результаты расчетов с использованием предложенных в работе моделей, позволяют сделать обоснованный выбор электродвигателей для заданных условий и режимов работы оборудования.

Ключевые слова: *электрический привод, потребление электрической энергии, бытовое оборудование, система управления.*

DC MOTOR DRIVES ENERGY CONSUMPTION STUDYING IN HOUSEHOLD APPLIANCES

BILA T.Y., STATSENKO V.V.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Mathematical and computer models development that allow counting the electricity quantity and other operating parameters of electric drives with DC motors used in home appliances.

Methodology. We used known mathematical modeling methods, transient analysis in electromechanical systems and numerical solutions of nonlinear and differential equations.

Findings. The dependencies between the drive operating modes, physical and mechanical properties of processed products and power consumption are obtained. The computer model developed on these relationships basis the Simulink software environment.

Originality. The mathematical and computer models that allow determining the electrical power and other operating parameters of the drive by the known physical and mechanical properties of the medium, that creates a load on the working parts of the equipment, and specified operation mode, are obtained.

Practical value. The calculation results using the proposed models allow us to make an informed choice of electric motors for the given conditions and the equipment operation modes.

Keywords: *electric drive, electric power consumption, household equipment, control system.*