

A. Cmil

Annotation. *The methodology of the system of bioenergetic analysis of agricultural technological processes used to identify reserves of energy conservation and the search for energy-saving technologies.*

Keywords: *system bioenergetic analysis, energy intensity production, energy consumption*

УДК 313.33:621.318.122

**ФОРМУВАННЯ НИЗЬКИХ ЧАСТОТ ОБЕРТАННЯ
ТА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ МОМЕНТІВ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

М. М. ЗАБЛОДСЬКИЙ, доктор технічних наук, професор
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
e-mail: zablodskiynn@gmail.com

В. Ю. ГРИЦЮК, кандидат технічних наук, доцент
Донбаський державний технічний університет
e-mail: grits.86@mail.ru

Анотація. *Запропоновано і обґрунтовано спосіб безредукторного формування в поліфункціональних електромеханічних перетворювачах технологічного призначення низьких частот обертання і електромагнітного моменту, який кратно збільшений стосовно номінального. Наведені результати розрахунків механічних характеристик й показано варіант розробленого діючого комплексу для сушіння сипких речовин.*

Ключові слова: *поліфункціональний електромеханічний перетворювач, магніторушійна сила, електромагнітний момент, частота обертання*

Створення ресурсо- і енергозберігаючих технологій розвивається за двома основними напрямками. Перший з них пов'язаний з підвищенням ККД окремих елементів системи перетворення енергії. Другий заснований на інтегруванні функціональних властивостей одним агрегатом і використанні диссипативних складових енергії. Оскільки перший напрям за розвинутої системи оптимізації конструктивних розв'язків визначається, насамперед, створенням нових активних і ізоляційних матеріалів, темпи його розвитку обмежені. Для технологічних систем, що поєднують процеси транспортування, нагрівання, перемішування матеріалів, найбільш перспективним слід вважати другий напрям. У цьому випадку стає мож-

ливим заощадження ресурсів за рахунок об'єднання окремих елементів устаткування в одному корпусі й, що дуже важливо, використання диссипативної енергії зазначених елементів, яка раніше за традиційних схем перетворення й використання енергії даремно розсіювалася в навколишнє середовище. В межах цього напрямку створено новий клас електромеханічних перетворювачів енергії – поліфункціональні електро-тепломеханічні перетворювачі (ПЕМП) технологічного призначення [1].

Шнекові агрегати входять до складу обладнання багатьох технологічних процесів переробки речовин і вимагають стабільного режиму низької швидкості обертання 50-175 об/ хв. Динамічні режими (пуск, заштибування і переповнення шнеку) потребують короткочасного посилення динамічного моменту [2, 3]. Традиційно структура обладнання включає механічні редуктори, що забезпечують редукцію швидкості та моменту. Але за цих умов частка вхідної енергії втрачається, оскільки ККД механічних редукторів не перевищує 70%, виникають складнощі в реалізації режиму реверсу. Крім того, диссипативні складові енергії електродвигунів і редукторів не використовуються і також виключається можливість побудови на основі електромагнітної системи електродвигуна середовища для теплової, механічної і магнітної обробки речовин [1].

Однією з головних тенденцій розвитку сучасних автоматизованих електромеханічних систем є заміна редукторних електроприводів безредукторними (прямими) електроприводами. Ці електроприводи, в основному, являють собою електромеханотронні системи, які виконуються на базі вентильних двигунів або частотнокерованих асинхронних двигунів. Системи цього типу мають широкий діапазон регулювання частоти обертання (0-100000 об/хв) і обертаючого моменту на валу (1-1000 Н·м), гнучкістю й глибиною регулювання за жорстких механічних характеристик, високим ККД (80-97%) і питомим моментом (0,5–5 $\frac{Н \cdot м}{кг}$) [4].

Вентильні двигуни (ВД) такими показниками зобов'язані використанню в їхній конструкції великої кількості (10-200 шт.) високоефективних постійних магнітів, для яких проблеми крихкості й працездатності, за високої робочої температури, у цей час вирішені. Відоме застосування двигунів з ротором, що котиться Р. К. Нильсена з передачею Кардана, постійними магнітами й зубчастою передачею обертаючого моменту [5]. Однак намітилася стійка тенденція до росту ціни постійних магнітів і тому ця система керування силовими приводами залишається складною й дорогою.

Асинхронні двигуни із частотним регулюванням (АДЧР) стали одним з головних факторів енергозбереження сучасної промисловості й комунальної сфери. Відомо, що у разі зміни навантаження продуктивність асинхронного двигуна виявляється низькою. Існують пропозиції застосування штучної нейронної мережі на базі інтелектуального бессенсорного контролера для високої продуктивності регулювання швидкості асинхронного двигуна. Особливо за високих динамічних перешкод [6]. Загальна комбінація цієї установки моделюється в Matlab / Simulink. Був розроблений експериментальний прототип пропонованого приводу. Хоча ціна

перетворювачів і залишається досить високої (у два-три рази дорожче двигуна), вони дозволяють у ряді випадків знизити споживання електроенергії й поліпшити характеристики двигуна, наблизивши їх до характеристик менш надійних двигунів постійного струму. Надійність частотних регуляторів також у рази нижча, ніж електродвигунів. Не кожний споживач має можливість вкласти такі величезні гроші у встановлення частотних регуляторів. Усе більшу актуальність здобувають питання енергетики, що включають підвищення коефіцієнта корисної дії, регулювання реактивної потужності, забезпечення електромагнітної сумісності з навантаженням і мережею. Проте аналіз проблеми показує, що як у традиційних, так і в сучасних електроприводах існують поки ще недовикористані резерви підвищення енергетичної ефективності електромеханічного перетворення енергії. Це пов'язане з тим, що з ряду практичних міркувань у них реалізуються в більшості випадків режими роботи двигунів зі сталістю магнітного потоку.

Одержання зниженої швидкості можливе за спільної роботи двох механічно зв'язаних асинхронних двигунів, один з яких працює в руховому режимі, іншої — у генераторному режимі гальмування проти вмикання [4]. Однак з ростом жорсткості результуючої характеристики помітно знижується перевантажувальна здатність агрегату в руховому режимі, тому необхідно обмежуватись конкретним діапазоном регулювання кутової швидкості. Електричний коефіцієнт корисної дії такого привода низький, оскільки втрати в електроприводі дорівнюють сумі втрат в обох двигунах, причому один з них працює в режимі противмикання, а інший — у руховому режимі з підвищеним ковзанням. Але використання цього способу формування низьких частот обертання в ПЕМП дає змогу перетворювати енергію названих втрат в корисну теплову енергію. Загальний порожнистий ферромагнітний масивний ротор (ПФМР), який одночасно виконує функції виконавчого механізму – шнека і нагрівача, в ПЕМП створює умови для досягнення більш високої добротності, тобто зростання співвідношення «електромагнітний момент-струм» у порівнянні з асинхронним двигуном традиційної конструкції [7]. Тому необхідне обґрунтування реалізації динамічних і сталих режимів обертання ротору ПЕМП шнекового типу.

Мета досліджень – удосконалення способу безредукторного формування низької частоти обертання і екстремального результуючого моменту асинхронного приводу ПЕМП шнекового типу.

Матеріал та методика досліджень. Умови розміщення ПФМР ПЕМП у технологічному середовищі матеріалу, що переробляється розглянемо для конструкції, яка зображена на рис. 1.

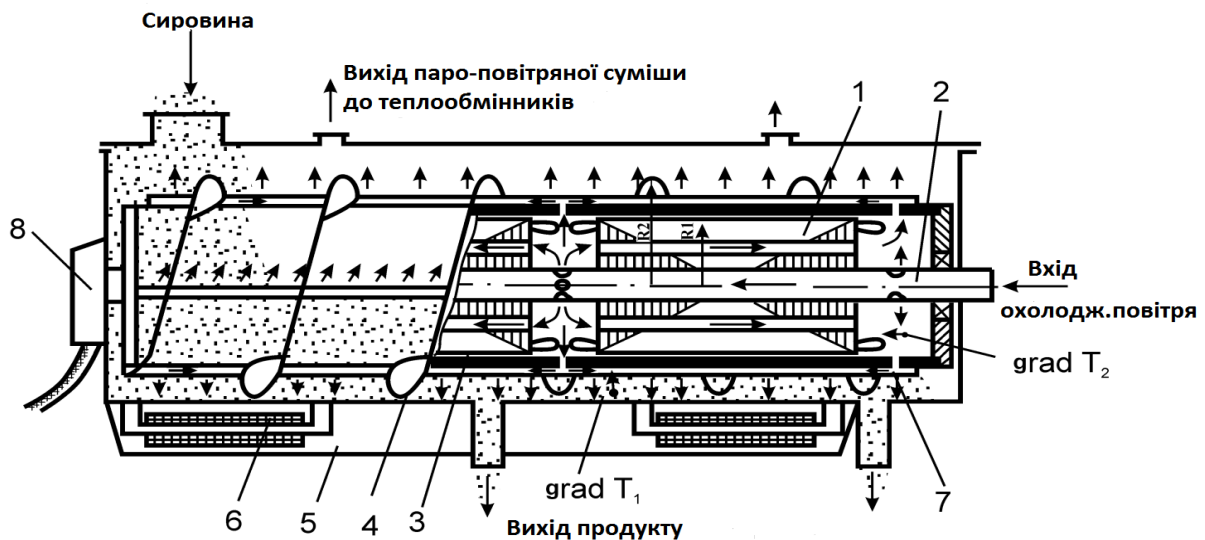


Рис.1. Конструктивно-технологічна схема шнекового ПЕМП:

- 1 – статор рушійного (гальмуючого) модуля; 2 – порожній нерухливий вал; 3 – зовнішній ротор-шнек; 4 – днище шнека; 5 – корпус; 6 – індуктори підігріву днища; 7 – аксіальні канали ротора-шнека; 8 – введення живлячої напруги

Конструктивне виконання та умови роботи ПФМР такі, що він завжди буде мати нерівність питомих активних опорів і комплексних магнітних проникностей в окремих елементах масиву. Зазначена нерівність породжує в роторі асиметричні струми, які за відомим правилом можуть бути розкладені на дві симетричні складові системи магніторушійних сил (МРС) з позитивним (пряма МРС) і негативним (зворотна МРС) порядками проходження фаз. Для рушійного модуля частоти обертання – прямої і зворотної МРС щодо ротора відповідно такі:

$$(n_c - n_p); \quad -(n_c - n_p) = -s_1 n_c; \quad (1)$$

у просторі:

$$n_{п р 1} = n_p + (n_c - n_p) = n_c; \quad (2)$$

$$n_{звр 1} = n_p - (n_c - n_p) = -n_c + 2n_p = n_c(1 - s_1),$$

де n_c – синхронна частота обертання;

$n_{пр}$; $n_{звр 1}$ – частоти обертання відповідно прямої і зворотної МРС у просторі;

s_1 – ковзання рушійного модуля.

Пряма МРС рушійного модуля обертається із синхронною частотою обертання в напрямку обертання ротора й, будучи, таким чином, нерухливою відносно МРС статора, створює результуючий магнітний потік і обертаючий момент, як за симетрії ПФМР. Потік від зворотної МРС обертається щодо статора із частотою $n_c = (1 - 2s_1)$ і генерує в ньому ЕРС частоти $f_{звр 1} = f_1(1 - 2s_1)$. Для відомого (гальмуючого) модуля частоти обертання прямої і зворотної МРС щодо ротора відповідно рівні:

$$-(n_c + n_p); \quad (n_c + n_p); \quad (3)$$

у просторі:

$$P_{пр.2} = -P_c; \quad (4)$$

$$n_{звр2} = 2n_p + n_c = n_c (2s_2 - 1) = n_c (3 - 2s_1),$$

де співвідношення ковзань провідного й відомого модулів відповідає виразу $s_2 = 2 - s_1$.

Пряма МРС гальмуючого модуля обертається із синхронною частотою протилежно обертанню ротора й нерухлива відносно МРС статора, створює результуючий потік і гальмовий момент ПЕМП, як за симетрії частини масивного ротора на відповідній довжині статора відомого модуля. Потік від зворотної МРС обертається щодо статора відомого модуля із частотою $n_c(3 - 2s_1)$ і генерує в ньому ЕРС частоти $f_{звр2} = f_1(3 - 2s_1)$. ЕРС у статорах створюють в обмотках струми частоти $f_{звр1}$ і $f_{звр2}$, які замикаються через обмотки джерел і приймачів енергії даної мережі. Зворотні МРС двох ділянок ротора й МРС відповідних статорів утворюють результуючі потоки, що обертаються відносно статорів із частотами $n_{звр1}$ й $n_{звр2}$ і, взаємодіючи зі струмами статорів відповідних частот, дають додаткові, так звані, зворотні моменти. Зворотний момент $M_{звр1}$, як впливає з (2), змінює свій знак залежно від частоти обертання. Поки частота обертання ротора менше $0,5 n_c$, маємо негативну частоту обертання $n_{звр1}$. Отже, зворотний потік обертається щодо статора в напрямку, зворотному обертанню ротора. Взаємодіючи зі струмами статора провідного рушійного модуля тієї ж частоти, він створює рушійний момент.

За частоти обертання ротора $n_p = 0,5 n_c$ будемо мати $n_{звр1} = 0$, тобто зворотнє поле провідного модуля нерухоме в просторі й у статорі ЕРС не індукується. Частоти обертання ротора $n_p > 0,5 n_c$ у шнековому ПЕМП, як правило, не досягаються, оскільки включається в роботу відомий (гальмуючий) модуль і частота обертання ротора прагне до робочої номінальної частоти обертання 50-150 об/хв. У момент включення відомого модуля його пусковий момент діє як ударний гальмовий момент, що викликає процес гальмування ротора шнека. При цьому зворотний момент $M_{звр}$, як впливає з (4), не змінює знак за зміни частоти обертання ротора. Згідно (4) зворотний потік $\Phi_{звр2}$ має позитивну частоту обертання, що збігається з напрямком обертання ротора. Взаємодіючи зі струмами статора відомого модуля тієї ж частоти $f_{звр2} = f_1(3 - 2s_1)$, він створює гальмовий момент.

Обертаючий момент шнекового ПЕМП являє собою суму діючих прямих і зворотних моментів відповідно провідного й відомого модулів:

$$M = M_{пр1} + M_{пр2} + M_{звр1} + M_{звр2}. \quad (5)$$

На рис. 2. показані розрахункові характеристики моментів шнекового ПЕМП за асиметрії опорів активних зон ротора-шнека.

Необхідно відзначити два рівні частоти обертання ротора: гранична частота обертання для форсованого режиму $n_{прф}$; номінальна частота обертання $n_{ном}$.

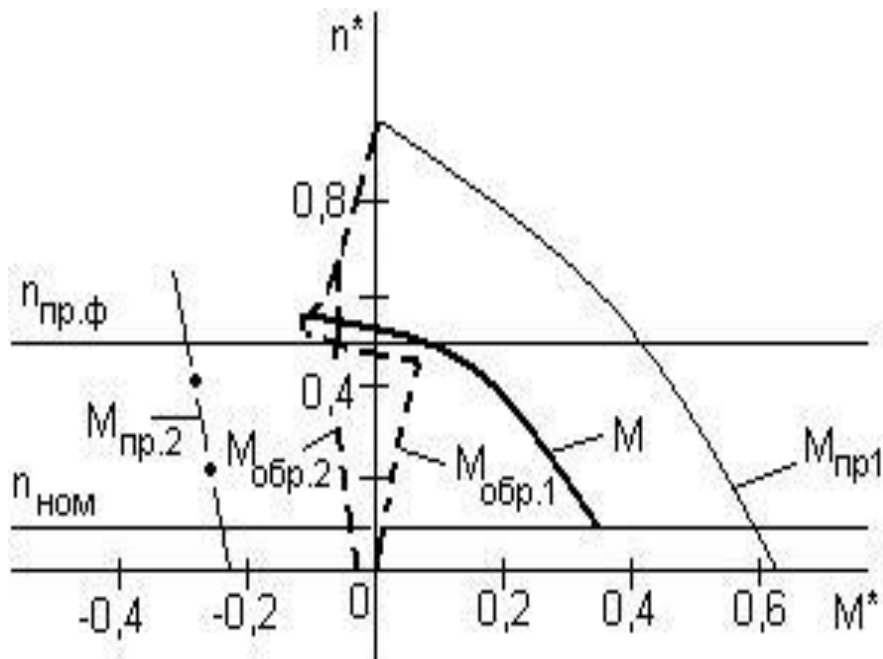


Рис. 2. Характеристики моментів шнекового ПЕМП за асиметрії опорів активних зон масивного ротора

Відносні значення досліджуваних величин визначаються з виразів: $n^* = n/n_C$; $M^* = M/M_{кр}$. Зворотний момент $M_{звр1}$ хоча і є позитивним за частот обертання $n \leq n_{прф}$, але приводить до збільшення положистості механічної характеристики й, як наслідок, до посилення нестійкості роботи ПЕМП за навантаження. Крім того, тривалості затримки включення гальмуючого модуля необхідно вибирати з умови досягнення необхідного результуючого обертаючого моменту ПЕМП, що перевищує діючий момент опору матеріалу, який транспортується. Частковий розподіл електромагнітної потужності за двома потоками корисної потужності здійснюється згідно величини поточного ковзання, яка виходячи зі співвідношення електромагнітних моментів рушійного (РМ) і гальмового (ГМ) модулів встановлюється на рівні, який забезпечує необхідну для даного технологічного режиму корисну механічну й теплову потужність: ПЕМП, до складу якого входять як мінімум два (умовно рухового й гальмового) електромагнітних модуля, які містять активні зони статорів і загального ПФР, короткочасно, періодично або постійно працюють в одному з режимів:

а) узгоджений напрямок відповідно прямих і зворотних МРС обертових синхронних магнітних полів модулів, що створюють при взаємодії з вихровими струмами ПФР сумарний електромагнітний момент, який кратно збільшений стосовно номінального (форсований режим);

б) протилежний напрямок відповідно прямих і зворотних МРС обертових синхронних магнітних полів модулів, що створюють при взаємодії з вихровими струмами ПФР різних частот, обумовлених співвідношенням ковзань РМ і ГМ, електромагнітні моменти протилежних напрямків, які формують за навантаження ПЕМП частоту обертання з 5-

10-кратним зниженням відносно синхронної без застосування механічного редуктора.

На рис. 3 показана функціональна електрична схема технологічного сушильного комплексу. Його основними пристроями є: комутатор три фазної напруги 380В, 50Гц КТН, нагрівальний елемент (НЕ) з комутатором (КНЕ), повітропровід з вентилятором (ВП), трифазний тиристорний комутатор (ТТК), трифазний датчик струму (ТДТ), шнековий ПЕМП із сушильною камерою ШД, механізм завантаження сушильної камери (МЗ), механізм розвантаження сушильної камери (МР), система управління (СУ) із джерелом оперативного живлення (ИОП), дисплеєм (ДС), і клавіатурою (КЛ).

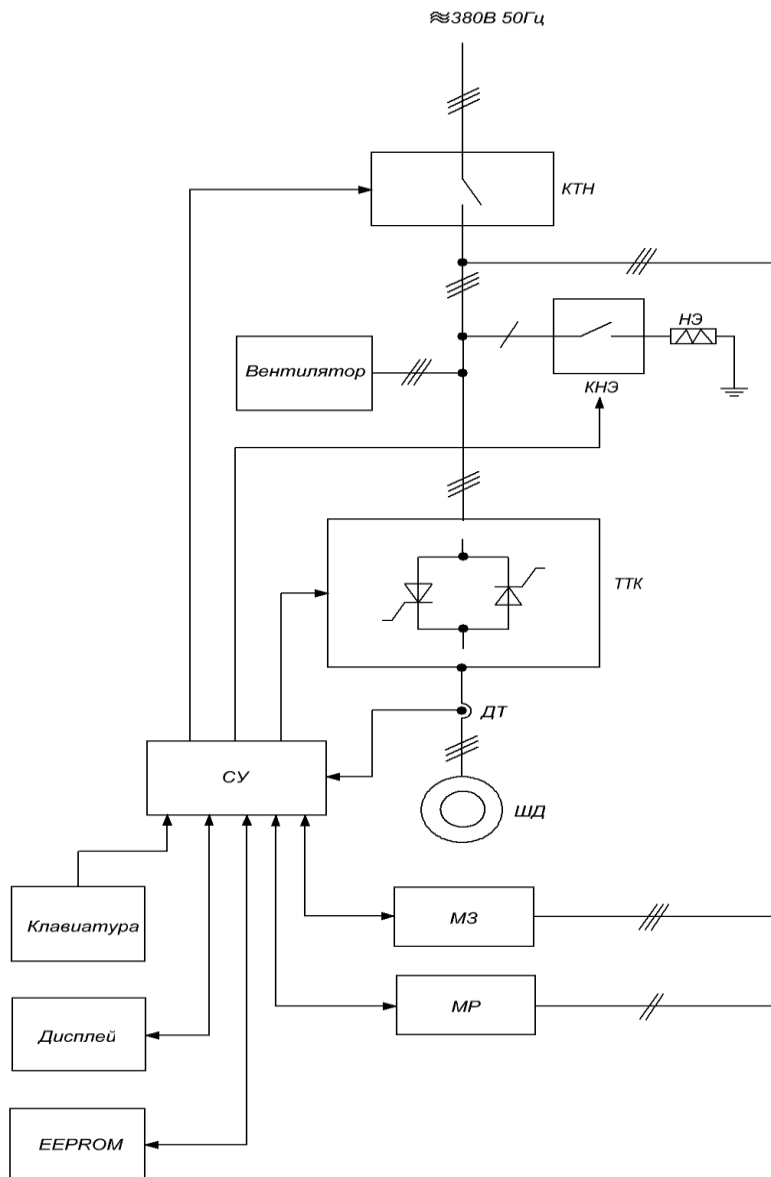


Рис. 3. Функціональна електрична схема технологічного сушильного комплексу

Система керування технологічного комплексу реалізована на базі спеціалізованого мікроконтролера MCF5272 Coldfire. СУ формує сигнали

для наступних пристроїв: КТН, КНЭ, ТТК, МЗ, МР. В основу побудови СУ покладений принцип фінітного керування, реалізований у режимі реального часу RTC.

Висновки

Розроблено і реалізовано альтернативний спосіб безредукторного формування в поліфункціональних електромеханічних перетворювачах технологічного призначення низьких частот обертання і електромагнітного моменту, який кратно збільшений стосовно номінального.

Список літератури

1. Заблодский Н. Н. Полифункциональные электромеханические преобразователи энергии технологического назначения / Н. Н. Заблодский, В. Е. Плюгин, В. Ю. Грицюк, Г. М. Гринь // Электротехника.-2016.-№ 3.-С. 24-29.
2. Груздев И. Э. Теория шнековых устройств./И. Э.Груздев, Р. Г. Мерзоев. – Л., 1978. –142 с.
3. Ясногородский А. Я. Многоцелевые двухшнековые машины для перерабатывающих технологий: Монография / А. Я. Ясногородский, А. Г. Звездин. – Х.: Прапор, 2006.– 184 с.
4. Зеленов А. Б. Теория электропривода. Методика проектирования электроприводов: підручник /А. Б.Зеленов. – Луганськ: вид-во «Ноулідж», 2010.– 670 с.
5. Asmund K. Nilsen, Robert K. Nilsen Design of a new permanent magnetized hypocycloidal relactans machine // Master Thesis NTNU, june 2011.
6. Saranya R., Thangavel S. Hardware Implementation of Induction Motor using. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2016. –Vol. 2, No. 3. P. – 522 ~ 529
7. Лищенко А. И. Асинхронные машины с массивным ферромагнитным ротором /А. И. Лищенко, В. А. Лесник. – К.: Наук. Думка, 1984. – 184 с.
8. Патент № 43200 України, МПК (2009) F26B17/00. Шнековый электрический сушильный агрегат /М. М. Заблодський, Г. М. Гринь.; заявник – №;заявл. ; опубл. 2009 р., Бюл. № 15, 2009 р..

References

1. Zablodskiy, N. N., Plyugin, V. E., Gritsyuk, V. Yu., Grin, G. M. (2016). Polifunksional'nye elektromekhanicheskie preobrazovateli energii tekhnologicheskogo naznacheniya [Polyfunctional electromechanical converters of energy technological destination]. Electrical engineering, 3, 24 – 29.
2. Gruzdev, I. E., Mirzoev, R. G. (1978). Teoriya shnekovykh ustroystv [The theory of screw devices]. Leningrad, Russia: Publishing House of LeningradUniversity Press, 142.
3. Yasnogorodsky, A. Y. (2006). Mnogotsелеvye dvukhshnekovye mashiny dlya pererabatyvayushchikh tekhnologiy [Multi-purpose twin-screw machines for processing technologies]. Prapor, 184.
4. Zelenov, A. B. (2010). Teoriya elektroprivoda. Metodika proektuvannya elektroprivodiv [Theory of electric drive. Methods of designing electric drives]. Noulidzh, 670.
5. Asmund K Nilsen, Robert K Nilsen (2011). Design of a new permanent magnetized hypocycloidal relactans machine. Master Thesis NTNU.

6. Saranya, R., Thangavel, S. (2016). Hardware Implementation of Induction Motor using. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2 (3), 522 – 529.

7. Lischenko, A. I., Lesnik, V. A. (1984). Asinkhronnye mashiny s massivnym ferromagnitnym rotorom [Asynchronous machines with a massive ferromagnetic rotor]. Naukovadumka, 184.

8. Zablodskiy, N. N., Grin, G. M. (2009). Screw electric drying aggregate. Patent of Ukraine for use fulmodel. F26B17/00. № 43200; declared 23.02.2009; published 10.08.2009, № 15.

ФОРМИРОВАНИЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МОМЕНТОВ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

***Н. Н. Заблодский,
В. Ю. Грицюк***

Аннотация. *Предложен и обоснован способ безредукторного формирования в полифункциональных электромеханических преобразователях технологического назначения низких частот вращения и электромагнитного момента, который кратно увеличен относительно номинального. Приведены результаты расчетов механических характеристик и показан вариант разработанного действующего комплекса для сушки сыпучих веществ.*

Ключевые слова: *полифункциональный электромеханический преобразователь, магнитодвижущая сила, электромагнитный момент, частота вращения*

FORMATION OF LOW FREQUENCY OF ROTATION AND EXTREME MOMENT MULTIFUNCTIONAL ELECTROMECHANICAL CONVERTERS TECHNOLOGICAL PURPOSES

***N. Zablodskiy,
V. Gritsyuk***

Annotation. *A gearless and obrhuntovano way of forming a multifunctional electromechanical converters technological purpose low frequency electromagnetic torque and rotation, which fold increased in relation to nominal. The results of calculations of mechanical properties and shows current version developed complex for dry bulk materials.*

Key words: *multifunctional electromechanical transducer magnetomotive force, electromagnetic torque, speed*