

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**КОСТЮК
ЄВГЕН ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 621.798

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДІВ МАШИН НА
ОСНОВІ СУЧАСНИХ СИСТЕМ
РЕГУЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.18.12 – Процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Соколенко Анатолій Іванович
Національний університет харчових технологій,
завідувач кафедри технічної механіки і
пакувальної техніки, заслужений діяч науки і
техніки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Паламарчук Ігор Павлович
Вінницький національний аграрний університет
МінАПП України, завідувач кафедри процесів та
обладнання переробних і харчових виробництв ім.
П.С. Берника, декан факультету механізації
сільського господарства.

кандидат технічних наук
Лензійон Валентин Йосипович,
пенсіонер

Захист відбудеться «_____» _____ 2013 р. о _____ годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 у Національному
університеті харчових технологій за адресою: 01601 м. Київ,
вул. Володимирська 68, ауд. _____.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного
університету харчових технологій за адресою: 01601 м. Київ,
вул. Володимирська 68.

Автореферат розісланий «_____» _____ 2013 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., доцент

Кривопляс-Володіна Л.О.

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Підвищення ефективності роботи технічних систем (ТС) висуває вимоги до збільшення продуктивності при одночасному дотриманні технологічних показників і скороченні втрат продукції. Виникає дилема, вирішення якої можливе лише за умови розробки нових конструктивних рішень технологічного обладнання або впровадження оптимізаційних заходів відносно роботи вже існуючих зразків машин.

Аналіз сучасного рівня розвитку всього комплексу обладнання харчових підприємств дозволяє стверджувати, що збільшення кінематичних і динамічних параметрів обладнання, що входить до складу ТС, не є єдиним і завжди обґрунтованим фактором у підвищенні їх пропускної спроможності. Особливо це стосується обладнання для формування, перевантаження та розформування масивів пакованої продукції, оскільки швидкості, при яких відбуваються відповідні операції, вже досягли значень, перевищення яких негативно вплине на умови збереження стійкості та цілісності продукції.

Тому розробка теоретичної бази і математичного апарату для опису механічних процесів, які мають місце під час роботи кожної ТС, необхідна і має за мету пошук нових резервів для конструктивного вирішення оптимізаційних задач.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до Програми держбюджетної науково-дослідної роботи Національного університету харчових технологій на 2011-2015 рр. «Розроблення наукових основ технологічних процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації і автоматизації» та плану науково-дослідної роботи кафедри технічної механіки і пакувальної техніки.

Автор приймав участь у виконанні теми на державне замовлення ПНДЛ НУХТ «Розробка наукового підґрунтя контурів замкненого енергокористування в харчовій промисловості» (№ держреєстрації 0109U008362).

Метою роботи є аналіз теоретичної бази, розрахунок і дослідження механізмів машини, обраної в якості об'єкта вивчення, розроблення алгоритму моделювання і методики (програми) машинного розрахунку механізмів подібного класу.

Завдання роботи полягає в отриманні результатів, на основі яких можуть бути зроблені висновки про можливість та доцільність застосування пропонованих вдосконалень щодо оптимізації та покращення режимів роботи машин і управління робототехнічними комплексами.

Об'єктом дослідження обрано машини для одержання транспортних і збільшених вантажних одиниць.

Предметом дослідження є процеси управління електричними приводами машин і механізмів на основі асинхронних двигунів.

Методи дослідження. Використано методи математичного моделювання систем на основі стандартних припущень і положень класичної механіки, експериментальні контактні і безконтактні методи вимірів кінематичних,

електричних і силових параметрів та комп'ютерну обробку аналітичних і експериментальних моделей в програмному прикладному пакеті MathCAD.

Наукова новизна одержаних результатів. Проведені теоретичні дослідження дають змогу відмітити наступне.

- Розроблено аналітичні моделі та методики визначення кінематичних і динамічних параметрів процесів переміщення вантажів за допомогою маніпуляторів із трьома ступенями вільності в прямокутній просторовій системі координат.

- Описано перехідні режими при застосуванні електропривода в умовах втручання в роботу двигунів і регулювання параметрів їх роботи.

- Встановлено фактори впливу на технічні системи і оцінено їх значимість в досягненні поставленого завдання по швидкодії та обмеженню силових показників процесу.

- Розроблено методики керування роботою приводів, за яких досягається реалізація синусоїдальних законів руху ведених мас та підвищення ККД приводів.

Достовірність результатів роботи визначається використанням стандартних припущень, основних положень класичної механіки та підтверджується відповідністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень. Розроблені математичні моделі увійшли до відповідних розділів теоретичних курсів дисциплін, що читаються на кафедрі технічної механіки і пакувальної техніки НУХТ.

Наукове і практичне значення отриманих результатів. Встановлено особливості механічних характеристик та параметрів роботи електродвигунів за низьких частот струму, які накладають суттєві обмеження на використання інверторів струму. Запропоновано альтернативний спосіб регулювання кінематичних та динамічних параметрів електропривода.

В роботі наведено пропозиції, які можуть бути використані для ефективного застосування перетворювачів частоти змінного струму з метою регулювання параметрів роботи електропривода.

Особистий внесок здобувача полягає в критичному аналізі технологій і обладнання, які використовуються при одержанні збільшених вантажних одиниць та транспортних упаковок, формулюванні задач досліджень, складанні й аналізі математичних моделей, організації, проведенні експериментальних досліджень і обробці їх результатів, розробці методів розрахунку вузлів, в яких взаємодіють ведуча та ведена маси, наданні рекомендацій щодо модернізації обладнання та його впровадження.

Автор особисто приймав участь у проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, розробленні методик досліджень, обробці, аналізі й узагальненні отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на X Міжнародній студентській науково-практичній конференції з проблем пакувальної індустрії (м. Київ, НУХТ, 2009 р), на міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи» (м. Київ, НУХТ, 2010 р.), на 76-й, 77-й та 78-й наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у

XXI столітті», на семінарах кафедри технічної механіки і пакувальної техніки НУХТ.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 3 наукові статті у фахових наукових виданнях, 6 тез доповідей на наукових конференціях, отримано 3 патенти України на винаходи та 4 деклараційні патенти на корисні моделі.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Основний зміст дисертаційної роботи викладено на 141 сторінці. Робота містить 42 рисунки і 8 таблиць. До роботи додається 7 додатків на 24 сторінках. Список використаних джерел містить 124 найменування.

Основний зміст роботи

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми і доцільність дисертаційної роботи. Відмічено необхідність створення наукового підґрунтя для детального опису динаміки механізмів, керованих сучасними засобами регулювання технологічних параметрів систем. Аргументовано вибір класу пакувального обладнання для формування збільшених вантажних одиниць у якості об'єкта для подальшого дослідження.

В першому розділі виконано огляд сучасного стану розвитку пакувального обладнання, яке працює на завершальних стадіях виробництва. Наведено класифікацію пакетоформувальних машин і методи формування транспортних пакетів.

Розглянуто місце і роль робототехніки у пакувальній індустрії. Наведено термінологію, яка застосовується у цій галузі, класифікацію, будову та можливості робототехнічних засобів, способи та системи управління роботами. Згідно зі згаданою класифікацією об'єкт дослідження є роботом. З цим пов'язана необхідність розгляду цього питання.

Описано методи моделювання при дослідженні різних процесів, зокрема технічних систем. Відповідно до особливостей об'єкта дослідження як засіб обрано математичне моделювання.

Виконаний огляд літературних джерел з обраної тематики, стану розвитку пакувальної техніки на завершальних стадіях виробництва, зокрема обладнання для формування укрупнених вантажних одиниць, а також методів дослідження технічних систем дозволив сформулювати наступні завдання досліджень і розробок.

1. З урахуванням поширення робототехніки в пакувальній індустрії розвинути аналітичну базу для аналізу і синтезу таких механізмів та їх приводів, пошуку можливостей оптимізації режимів роботи, а також обґрунтування вибору засобів реалізації технологічного процесу.
2. Експериментально визначити механічні характеристики асинхронного електродвигуна, керованого перетворювачем частоти промислового струму. Визначити обмеження, які можуть існувати при застосуванні такого засобу регулювання електропривода.
3. На основі реальної конструкції робота-укладчика вантажів на піддоні провести аналіз влаштування та кінематики його маніпулятора,

прослідкувати можливі ситуації роботи машини і запропонувати відповідні циклограми із суміщенням рухів виконавчих механізмів.

4. Створити математичні моделі для дослідження динамічних і силових параметрів механізмів маніпулятора, навести аналітику цих параметрів для різних операцій даної машини.
5. На основі сучасних засобів реалізації та регулювання кінематики і динаміки приводів машин, запропонувати математичні моделі та засоби їх реалізації.

Другий розділ присвячений методикам частотного регулювання електроприводів машин як засобу реалізації необхідних параметрів технологічного процесу системи.

Головною вимогою при виборі електродвигуна є відповідність його потужності умовам технологічного процесу робочої машини. Недостатня потужність приводить до порушення технологічного режиму роботи установки, зниження продуктивності, підвищення нагріву, прискорення старіння ізоляції тощо. Недоцільним є також використання двигуна завищеної потужності, оскільки при цьому підвищується вартість приводу, збільшуються втрати електроенергії за рахунок зниження ККД двигуна, а для асинхронного електроприводу, крім того, знижується коефіцієнт завантаження.

Коефіцієнт завантаження двигуна розраховується за формулою

$$k_z = \frac{N_{\phi}}{N_n} \approx \frac{P_c}{P_{nc}}, \quad (1)$$

де N_{ϕ} , N_n – фактична та номінальна потужність, що розвивається приводом;

P_c , P_{nc} – потужність, споживана з мережі (фактична та номінальна відповідно).

На рис. 1 представлена усереднена залежність ККД від коефіцієнта завантаження, яка показує, наскільки небажана робота приводу з малим завантаженням.

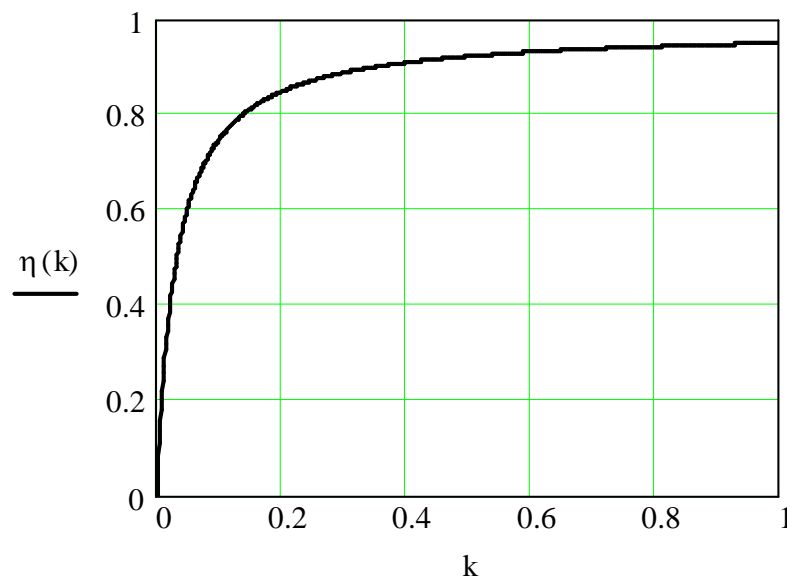


Рис. 1. Залежність ККД від коефіцієнта завантаження

В механічних системах потужність пропорційна добутку зусилля опору та швидкості. Зусилля опору включає дві складові – статичну і динамічну:

$$F_{on} = F_c + F_d. \quad (2)$$

У свою чергу останні визначаються наступними залежностями (за умови піднімання або горизонтального переміщення рухомої маси m відповідно):

$$F_c = F_m = mg; \quad F_c = F_{mp} = mgf_{np}; \quad (3)$$

$$F_o = ma. \quad (4)$$

Очевидно, що потужність N залежатиме від швидкості та прискорення об'єкта переміщення:

$$N = (F_c + ma)v, \quad (5)$$

де a – прискорення, м/с²;

v – швидкість, м/с.

При реалізації певного закону руху обидва параметра будуть функціями часу. Тому в кожному конкретному випадку зміна потужності в часі буде описуватись різними законами. Для прикладу наведемо залежність при синусоїдальному законі зміни прискорення.

$$a = A \sin \omega t; \quad (6)$$

$$v = -\frac{A}{\omega} \cos \omega t + \frac{A}{\omega}, \quad (7)$$

де A – амплітуда синусоїди, м/с²;

ω – кутова частота синусоїди, рад/с;

t – поточне значення часу переміщення, с;

Підставляючи (6) і (7) у вираз (5) отримаємо

$$N = (F_c + mA \sin \omega t) \left(-\frac{A}{\omega} \cos \omega t + \frac{A}{\omega} \right). \quad (8)$$

Характер отриманої залежності представлений на рис. 2.

Очевидно, що за таких умов значна частина часу роботи машини супроводжується втратою ККД. Величина ділянки неефективної роботи залежатиме від конкретних значень параметрів машини. У різних випадках вона може абсолютно відрізнятись від наведеного прикладу, проте зміни споживаної потужності будуть присутніми у будь-якому випадку. Це свідчить про необхідність регулювання не лише частоти обертання ротора, але одночасно і крутного моменту M двигуна, тобто його потужності загалом.

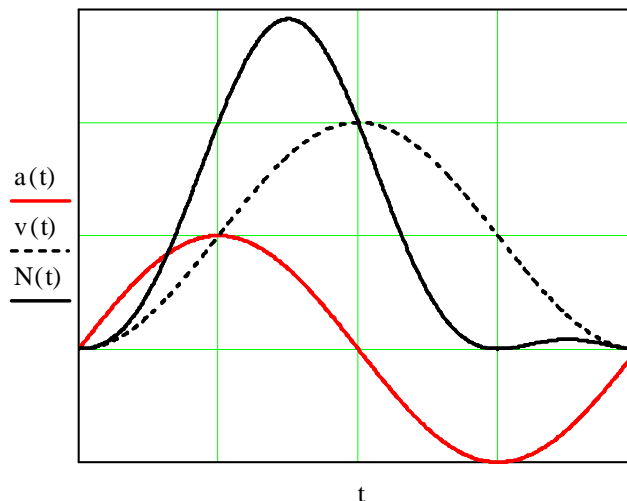


Рис. 2. Зміна швидкості v та потужності N в часі за синусоїдального закону зміни прискорення a

Такі задачі (роздільне регулювання) цілком успішно вирішуються шляхом поєднання двох методів регулювання роботи електричних машин, а саме за допомогою одночасної зміни як частоти змінного струму, так і його напруги. Цей спосіб реалізації заданих параметрів роботи двигуна зветься векторним управлінням.

Скалярна зміна частоти f і амплітуди напруги U живлення двигуна здійснюється згідно закону

$$U \approx f^n,$$

де n – умовний степеневий показник. Залежно від його величини будемо мати різну характеристику привода:

а) $n = 1$; $\frac{U}{f} = const$; при $M = const$ і $N \equiv f$ – «кранова» характеристика;

б) $n < 1$; $M \equiv \frac{1}{f}$ при $U_1 = const$ і $N = const$ – тягова характеристика;

в) $n > 1$; $M \equiv f^2$ при $U \equiv f^2$ і $N \equiv f^3$ – «вентиляторна» характеристика.

Особливістю такого регулювання є фактичне зниження моменту, що розвивається двигуном при низьких частотах обертання ротора (при $U < U_{ном} / 7$).

Проведений аналіз дозволив зробити такі висновки:

1. Робота сил рушійних проти сил інерції від часу розгону та закону зміни прискорення не залежить, оскільки вона чисельно дорівнює кінетичній енергії, яка надається об'єкту. Проте вид закону перехідного процесу впливає на величину ККД двигуна.
2. Існують значні резерви щодо економії енергоресурсів при переміщенні вантажів. Зокрема мінімізація енерговитрат, пов'язаних з перехідними режимами, можлива за рахунок зміни потужності привода відповідно до величини технологічного опору і тим самим підвищення ККД двигуна. Також доцільним є корисне використання накопиченої під час розгону кінетичної енергії в режимах вибігу.
3. Реалізація безударних законів руху системи є не лише умовою надійності та довговічності механізмів, але і вимогою з точки зору обмежень, які накладаються фізико-механічними характеристиками об'єктів пакування.

Впровадження частотного регулювання електропривода в першу чергу потрібно розглядати як засіб реалізації параметрів технологічного процесу, автоматизації виробництва та зменшення аварійності. За існуючого рівня цін на електроенергію ЧРП є малоефективним з точки зору економії енергоресурсів.

У третьому розділі наведено методику дослідження механічної характеристики асинхронного електродвигуна при роботі на частоті нижче номінальної, а також результати створення експериментальної установки і проведених досліджень.

Як об'єкт дослідження використано експериментальну установку, принципова схема якої представлена на рис. 3. Вона складається з асинхронного електродвигуна 5, що керується інвертором змінного струму 1-4 та навантажується за допомогою порошкового електромагнітного гальмівного пристрою 7. Останній жорстко з'єднаний з двигуном муфтою 6. Механічна характеристика знімається у вигляді залежності частоти обертання ротора двигуна від моменту опору.

Для вимірювання частоти обертання вала застосовується безконтактний оптичний фото-тахометр 9. Фіксація обертів здійснюється за світловими імпульсами відображеними за допомогою білої мітки на муфті.

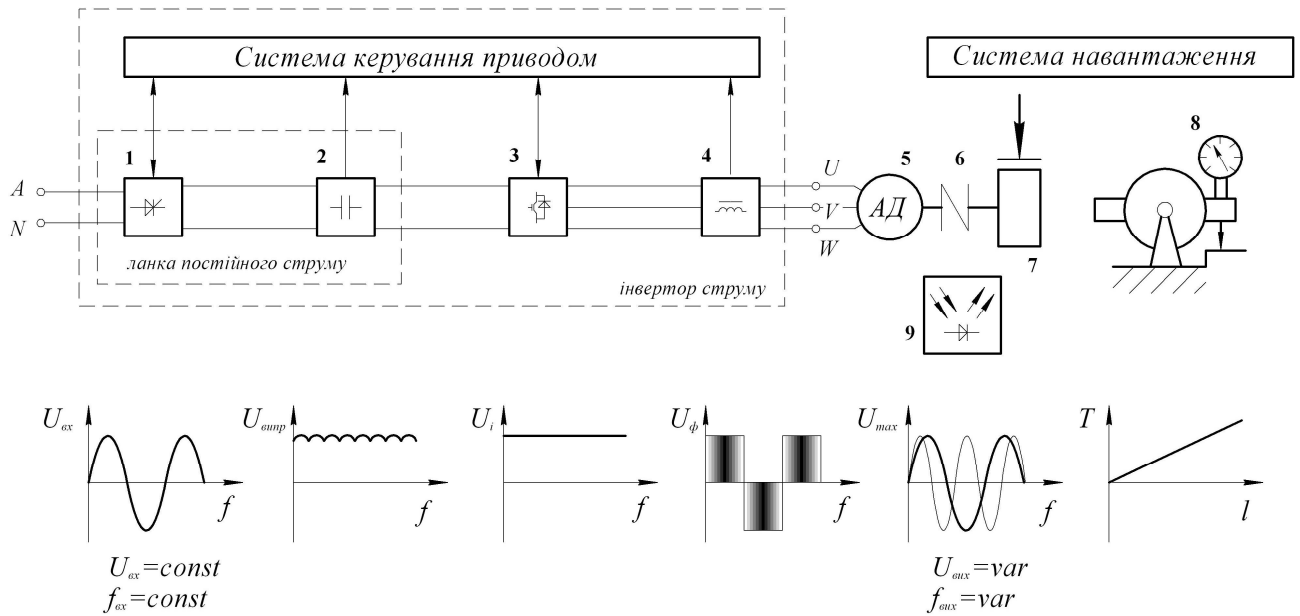


Рис. 3. Схема експериментальної установки

Гальмівний пристрій закріплений у горизонтальній підвісці з можливістю повертатись відносно власної вісі. Його рух обмежений пружиною, яка згинається під дією моменту опору. Відхилення пружини від початкового положення вимірюється індикатором годинникового типу 8. Момент опору визначається за емпіричною залежністю.

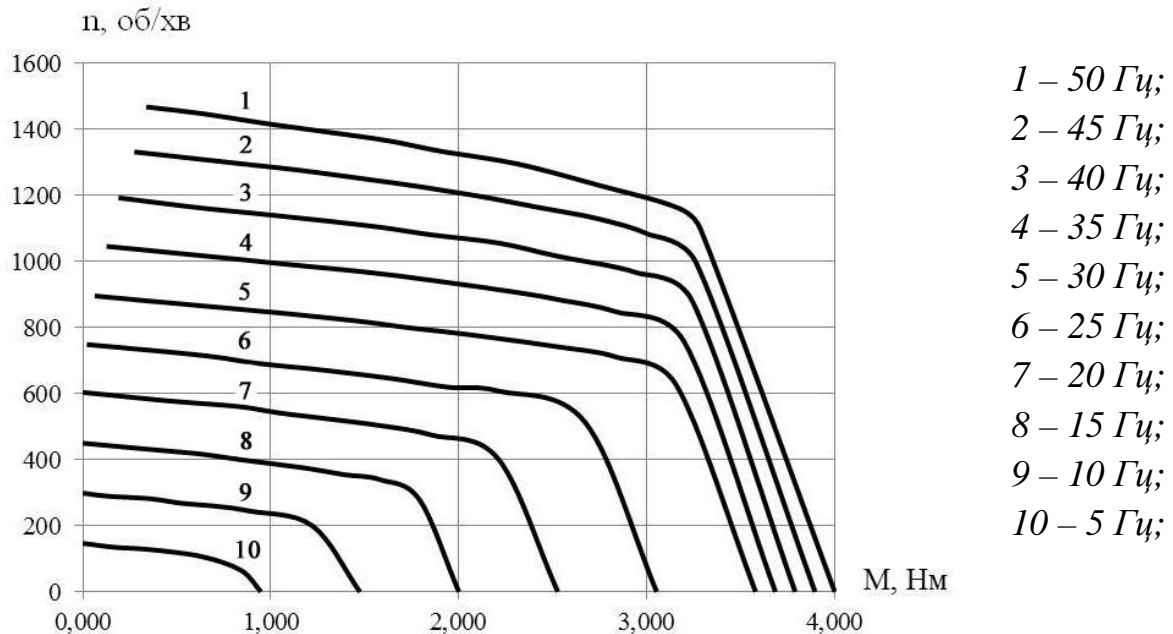


Рис. 4. Статична механічна характеристика АД при частоті струму нижче номінальної

Параметри механічної характеристики визначались для різних значень частоти струму в межах від 50 до 5 Гц з кроком у 5 Гц. За отриманими даними побудовано відповідні графіки залежностей. Результати вимірів представлені на рис. 4.

Аналізуючи криві, необхідно відмітити, що в діапазоні від 50 до 30 Гц значення номінального моменту двигуна дійсно витримується на заявленому рівні і становить 2,7 Нм. При подальшому зменшенні частоти струму нижче 30 Гц момент двигуна поступово зменшується до $\approx 0,6$ Нм при 5 Гц. Останнє значення моменту складає відносно малу частку від номінального:

$$\frac{0,6}{2,7} \times 100 \% = 22,2 \%,$$

що потрібно обов'язково враховувати при проектуванні регульованих приводів з використанням інверторів струму.

У четвертому розділі виконано приклад розрахунку маніпулятора з метою отримання кінематичних параметрів його роботи, які необхідні для подальшого дослідження динаміки. Складено технологічну карту машини, проведено розрахунок часу переміщень, побудовано циклограми роботи для різних ситуацій.

Для операції горизонтального переміщення розрахункові параметри наступні:

$$\begin{array}{lll} m_1 = 100 \text{ кг}; & m_2 = 1200 \text{ кг}; & c = 300000 \text{ Н/м}; \\ k = 0,7; & T = 6 \text{ с}; & S_{max} = x_{max} = 3 \text{ м}; \\ P_{on} = 235 \text{ Н}; & v_{max} = \dot{x}_{max} = 0,77 \text{ м/с}; & A = \ddot{x}_{max} = 0,58 \text{ м/с}^2. \end{array}$$

де m_1 та m_2 – приведені значення ведучої (ротор та рухомі деталі передавальних пристроїв) та веденої (каретка разом з підйомником і вантажем) мас відповідно;
 c – жорсткість пружного елемента (зубчатого паса), Н/м;

k – частка тривалості перехідних

процесів;

T – тривалість переміщення, с;

S, x – переміщення, м.

P_{on} – сила опору при горизонтальному переміщенні, Н;

v, \dot{x} – швидкість переміщення, м/с;

a, \ddot{x} – прискорення, м/с².

Кінематичний розрахунок включає вибір синусоїдального закону зміни прискорення при розгоні та гальмуванні і аналітично-числовий його опис для всіх операцій маніпулятора, а також побудову кінематичних схем механізмів маніпулятора. Графічно обраний закон руху представлений на рис. 5.

П'ятий розділ присвячено математичному моделюванню операцій переміщення вантажів маніпулятором ПФМ. Розглянуто принципи і особливості побудови розрахункових

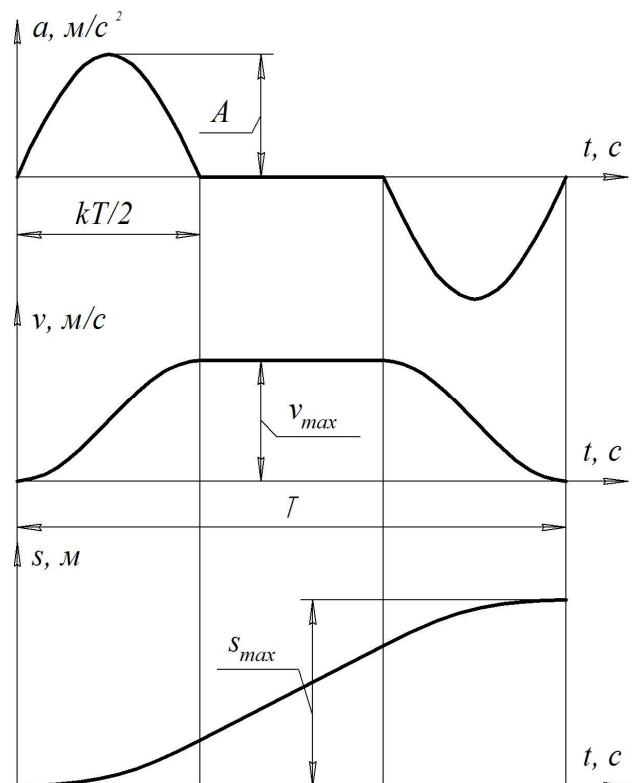


Рис. 5. Синусоїдальний закон зміни прискорення

моделей для механічних процесів. Для механізмів маніпулятора варто застосовувати двомасові моделі (рис. 6), оскільки присутня пружна ланка у вигляді паса.

Математична модель переміщення має вигляд:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 = P_{руш} - c(x_1 - x_2); \\ m_2 \ddot{x}_2 = c(x_1 - x_2) - P_{он}. \end{cases}$$

де $P_{руш}$ – рушійна сила, Н.

Нижній індекс позначає належність параметрів ведучій m_1 та веденій m_2 масі. Особливість аналітичного опису полягає в поетапному застосуванні різних законів руху ведучої маси згідно вихідних параметрів з розділу 3.

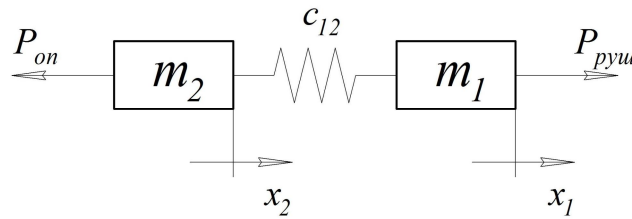


Рис. 6. Двомасова модель машини

Рух системи характеризується такими послідовними етапами: *навантаження пружного елемента (I), розгін (II), усталений рух (III) та гальмування (IV)*. Позначення у верхньому індексі відповідають етапу переміщення.

$$x_1^{I,III}(t) = -\frac{A(kT)^2}{4p^2} \sin\left(\frac{2p}{kT}t\right) + \frac{AkT}{2p}t;$$

$$\ddot{x}_1^{I,II}(t) = \ddot{x}^{max} \sin \frac{2p}{kT}t;$$

$$x_1^{III}(t) = \frac{AkT}{p}t - \frac{A(kT)^2}{4p};$$

$$\ddot{x}_1^{III}(t) = 0;$$

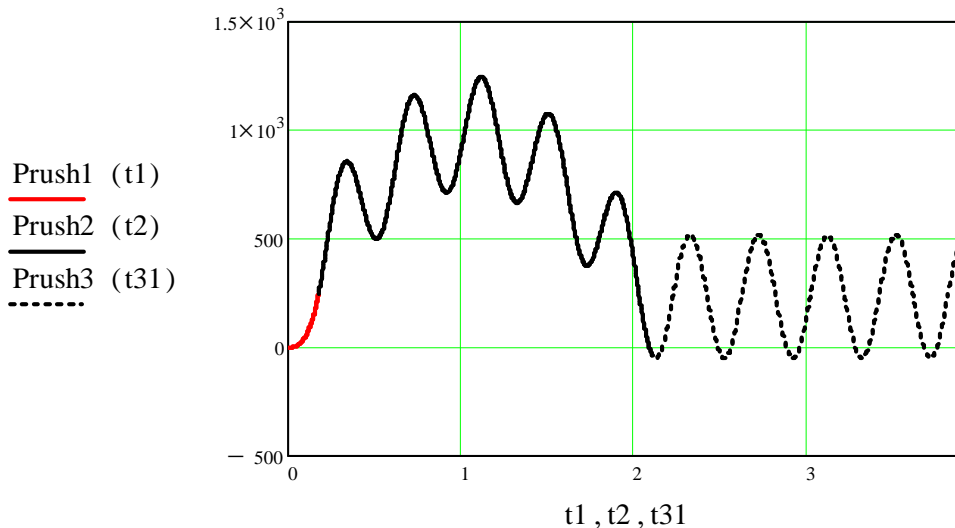


Рис. 7. Залежність $P_{руш} = P_{руш}(t)$: Prush1, 2, 3 – рушійна сила на I – III етапах відповідно, Н; t1, t2, t31 – тривалість етапів, с

$$x_i^{IV}(t) = \frac{A(kT)^2}{4p^2} \sin \frac{2p}{kT} \left(t - T + \frac{kT}{2} \right) + \frac{AkT}{2p} t + S - \frac{AkT^2}{2p};$$

$$\ddot{x}_i^{IV}(t) = -A \sin \frac{2p}{kT} \left(t - T + \frac{kT}{2} \right).$$

Розв'язання рівнянь руху на різних етапах виконано числовим методом, результати представлені графічно на рис. 7–10.

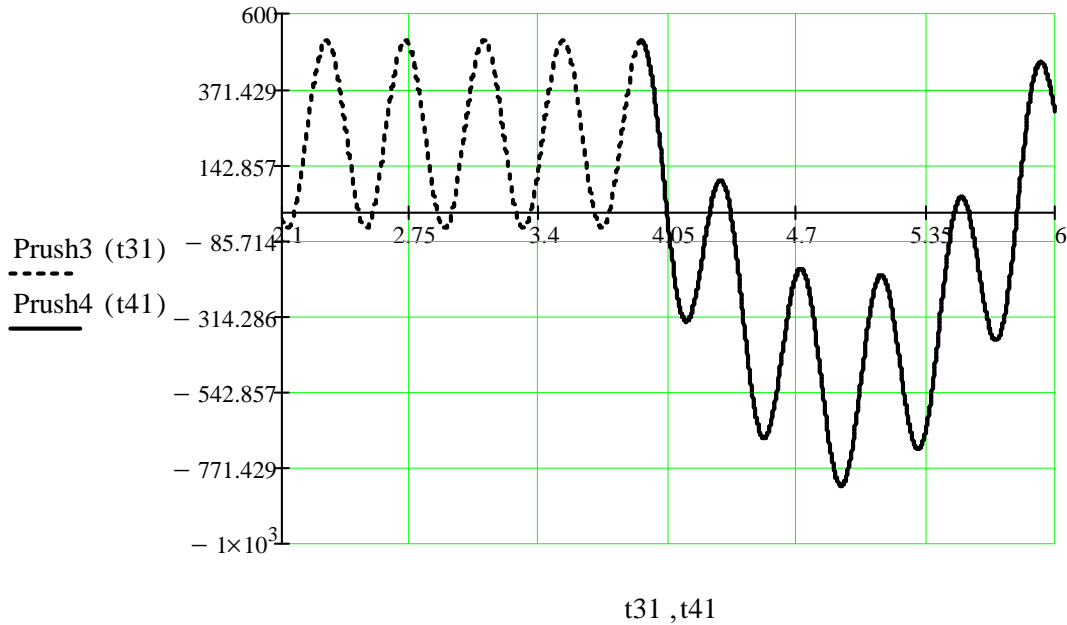


Рис. 8. Залежність $P_{руш} = P_{руш}(t)$: $Prush3, 4$ – рушійна сила на III і IV етапах відповідно, Н; $t31, t41$ – тривалість етапів, с

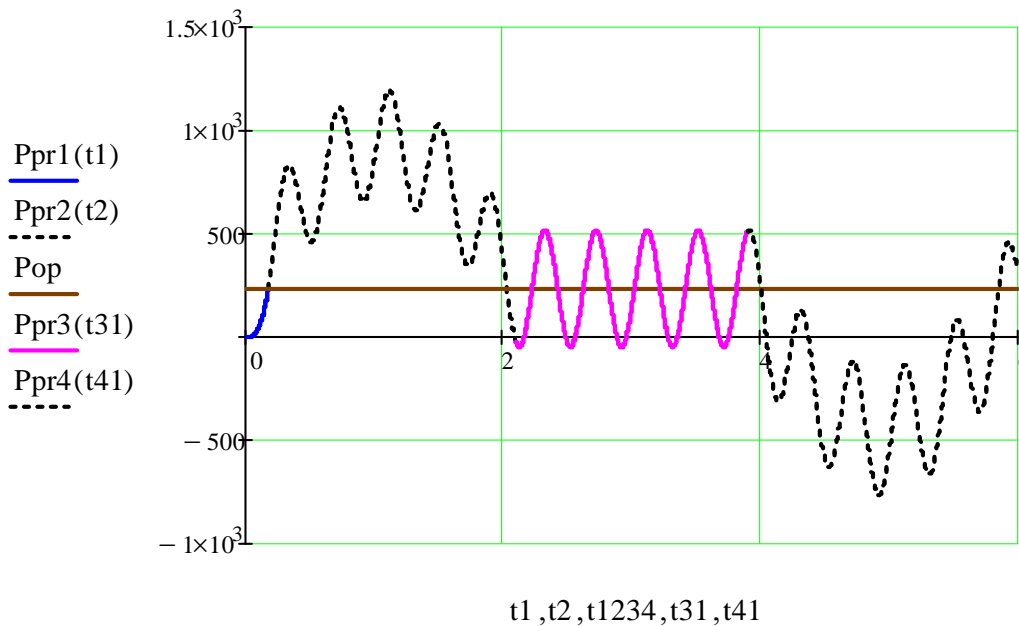


Рис. 9. Залежність $P_{np} = P_{np}(t)$ та її коливання відносно P_{on} : $Ppr1, 2, 3, 4$ – пружна сила на I – IV етапах відповідно, Н; Pop – сила опору, Н; $t1, t2, t31, t41$ – тривалість етапів, с; $t1234$ – тривалість операції переміщення, с

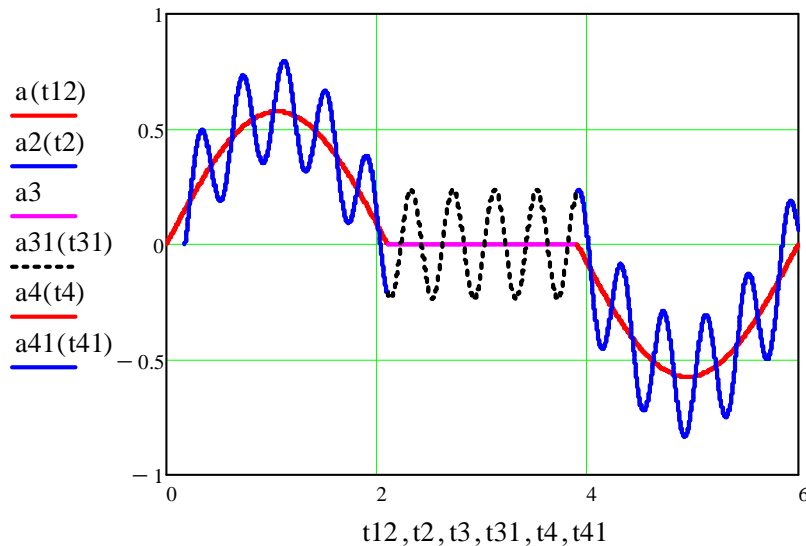


Рис. 10. Залежність $\ddot{x}_2 = \ddot{x}_2(t)$ та її коливання відносно \ddot{x}_1 :
 a , a_3 , a_4 – прискорення ведучої маси на I – IV етапах, m/c^2 ;
 a_2 , a_{31} , a_{41} – прискорення веденої маси на II – IV етапах, m/c^2 ;
 t_{12} , t_2 , t_3 , t_{31} , t_4 , t_{41} – тривалість етапів переміщення, c

Модель операції піднімання вантажу за своїм фізичним змістом аналогічна моделі горизонтального переміщення. Процес піднімання також відбувається у чотири етапи. Відмінності полягають у наступному. Ще до початку руху ведучої маси пружний елемент вже частково навантажений за рахунок ваги підйомника без вантажу, тобто початкова сила пружності не рівна нулю.

Графічні результати розв'язку рівнянь руху для операції піднімання представлені на рис. 11–12.

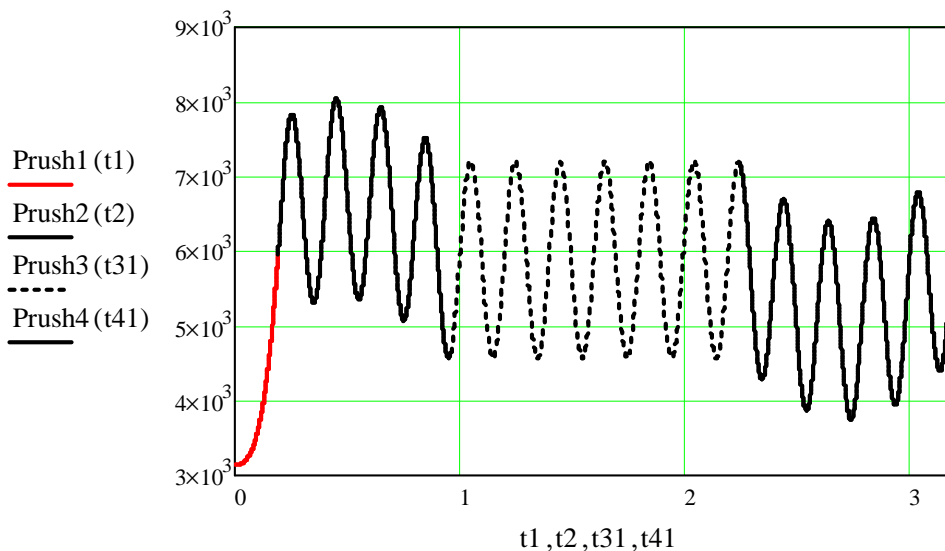


Рис. 11. Залежність $P_{руш} = P_{руш}(t)$ операції піднімання:
 $Prush1$, 2 , 3 , 4 – рушійна сила на I – IV етапах відповідно, H ;
 t_1 , t_2 , t_{31} , t_{41} – тривалість етапів, c

Операція опускання для механізмів даного класу повинна здійснюватись виключно із застосуванням гальмування. Це пов'язано зі значною масою підйомника і порівняно малим опором тертя у направляючих. Опускання

здійснюється у три етапи. На відміну від попередніх моделей, тут відсутній етап навантаження пружного елемента.

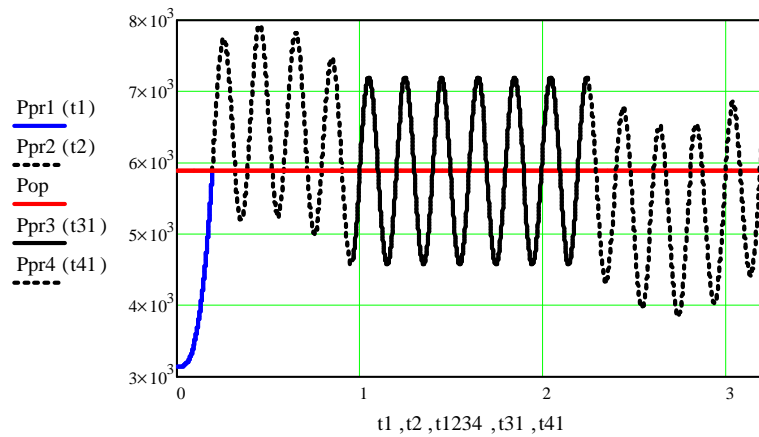


Рис. 12. Залежність $P_{пр} = P_{пр}(t)$ та її коливання відносно $P_{оп}$ для операції піднімання: $P_{пр1}, 2, 3, 4$ – пружна сила на I – IV етапах відповідно, Н; $P_{оп}$ – сила опору, Н; $t1, t2, t31, t41$ – тривалість етапів, с; $t1234$ – тривалість операції піднімання, с

Графічні результати розв'язку рівнянь руху для операції опускання представлені на рис. 13.

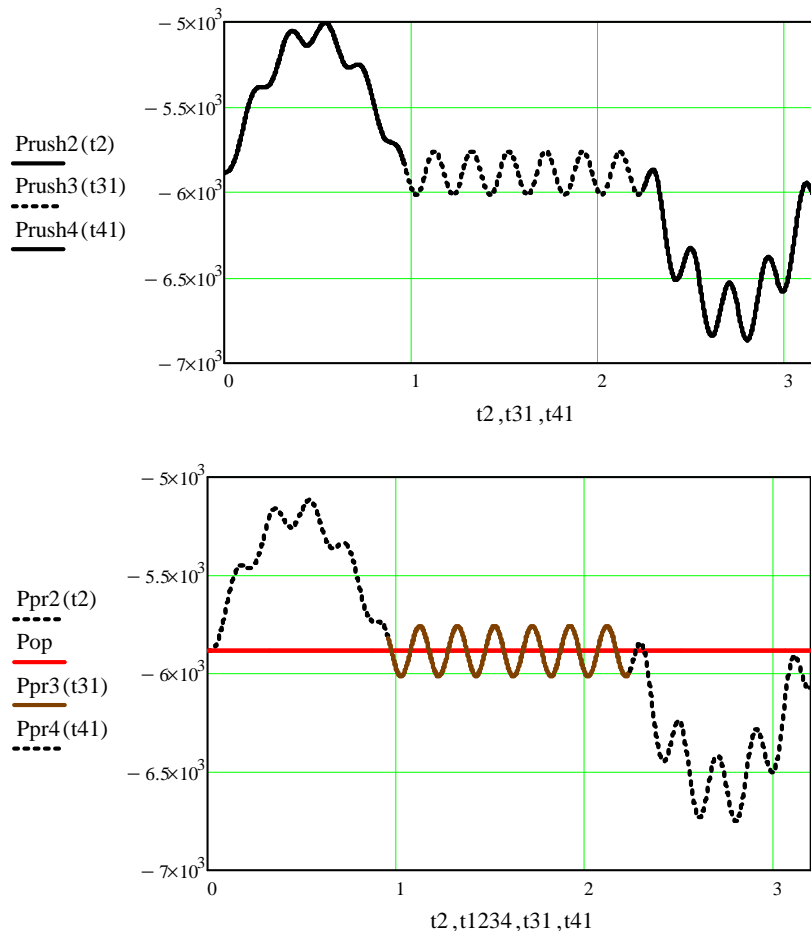


Рис. 13. Динамічні параметри системи для операції опускання: $P_{push2}, 3, 4$ – рушійна сила на II – IV етапах відповідно, Н; $P_{пр2}, 3, 4$ – пружна сила на II – IV етапах відповідно, Н; $P_{оп}$ – сила опору, Н; $t2, t31, t41$ – тривалість етапів, с; $t1234$ – тривалість операції опускання, с

Зазвичай у динаміці машин розв'язується задача, яка передбачає визначення результату впливу на вихідні параметри системи. Тобто виконується перевірка фактичних значень на їх допустимість, як правило, з точки зору міцності елементів системи.

В роботі розв'язано зворотну задачу, а саме визначено, які вхідні параметри потрібно задати, щоб отримати бажаний результат. В межах двомасової моделі бажаним результатом вважаємо абсолютно безударний режим руху веденої маси під час перехідного процесу. Такий режим буде реалізований за умови зміни прискорення за синусоїдальним законом. В аналітичному вигляді визначено, при якому законі руху ведучої маси ведена маса буде рухатись за синусоїдальним законом. Також визначено залежності за якими потрібно задавати рушійну силу для отримання означеного закону руху веденої маси.

I етап. Розгін. Система рівнянь руху на I етапі має вигляд:

$$\begin{cases} m_1 a_{11} = P_{\text{рух}} - c(x_{11} - x_{21}); \\ m_2 a_{21} = c(x_{11} - x_{21}) - P_{\text{он}}. \end{cases} \quad (9)$$

Перша цифра індексу позначає належність параметрів ведучій m_1 та веденій m_2 масі. Друга цифра відповідає етапу переміщення.

З другого рівняння визначаємо x_{11}

$$x_{11} = x_{21} + \frac{(m_2 a_{21} + P_{\text{он}})}{c}. \quad (10)$$

В отриманому виразі x_{21} та a_{21} задані умовою задачі і описуються наступними залежностями в часі:

$$a_{21}(t) = A \sin(\omega t); \quad (11)$$

$$x_{21}(t) = -\frac{A}{\omega^2} \sin(\omega t) + \frac{A}{\omega} t, \quad (12)$$

де амплітуда A та частота ω визначаються наступними залежностями:

$$A = \frac{2p \cdot S}{k(2-k)T^2}; \quad \omega = \frac{2p}{kT}.$$

Підставивши вирази (11) та (12) в рівняння (10) отримуємо залежність переміщення ведучої маси в часі

$$\begin{aligned} x_{11}(t) &= x_{21}(t) + \frac{(m_2 a_{21}(t) + P_{\text{он}})}{c} = \\ &= -\frac{A}{\omega^2} \sin(\omega t) + \frac{A}{\omega} t + \frac{(m_2 A \sin(\omega t) + P_{\text{он}})}{c} = \\ &= A \left(\frac{m_2}{c} - \frac{1}{\omega^2} \right) \sin(\omega t) + \frac{A}{\omega} t + \frac{P_{\text{он}}}{c}. \end{aligned} \quad (13)$$

Двічі продиференціювавши рівняння (13) отримуємо v_{11} та a_{11}

$$\begin{aligned} v_{11}(t) &= \frac{d}{dt} x_{11}(t) = -\frac{A}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{A}{\omega} + \frac{m_2 A \omega}{c} \cos(\omega t) = \\ &= A \left(\frac{m_2 \omega}{c} - \frac{1}{\omega} \right) \cos(\omega t) + \frac{A}{\omega}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{11}(t) &= \frac{d^2}{dt^2} x_{11}(t) = A \sin(\omega t) - \frac{m_2 A \omega^2}{c} \sin(\omega t) = \\
 &= A \left(1 - \frac{m_2 \omega^2}{c} \right) \sin(\omega t).
 \end{aligned} \tag{14}$$

Рівняння (14) є першою частиною розв'язку поставленої задачі. Воно описує закон руху ведучої маси при якому прискорення веденої буде змінюватись за синусоїдою.

З першого рівняння системи (9) знаходимо P_{pyuu} і підставляємо в нього вирази (12), (13) та (14), отримуємо залежність рушійної сили в часі:

$$\begin{aligned}
 P'_{pyuu}(t) &= m_1 a_{11} + c(x_{11} - x_{21}) = m_1 a_{11} + c \left(x_{21} + \frac{(m_2 a_{21} + P_{on})}{c} - x_{21} \right) = \\
 &= m_1 a_{11} + m_2 a_{21} + P_{on} = m_1 \left(A \left(1 - \frac{m_2 \omega^2}{c} \right) \sin(\omega t) \right) + m_2 A \sin(\omega t) + P_{on} = \\
 &= A \left(m_1 \left(1 - \frac{m_2 \omega^2}{c} \right) + m_2 \right) \sin(\omega t) + P_{on}.
 \end{aligned} \tag{15}$$

Графічна інтерпретація отриманих залежностей кінематичних параметрів представлена на рис. 14.

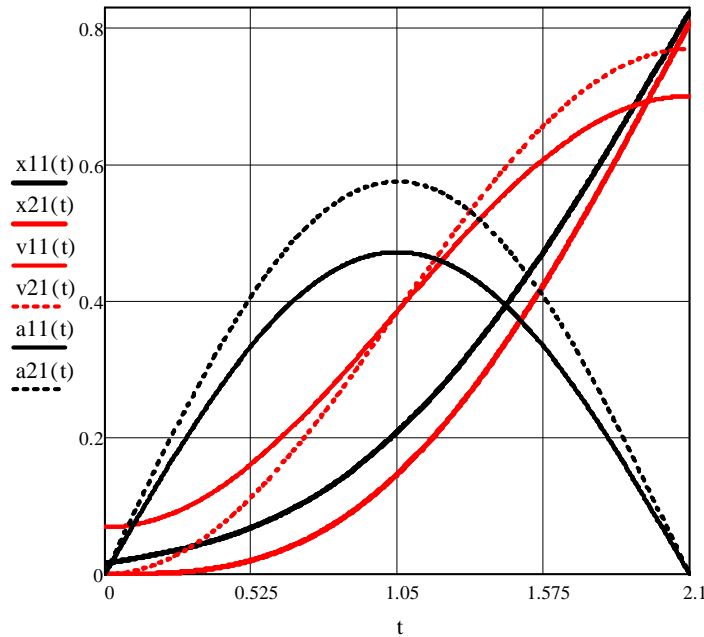


Рис. 14. Кінематичні параметри зворотної задачі на етапі розгону для ведучої та веденої мас відповідно: x_{11} , x_{21} – переміщення, м; v_{11} , v_{21} – швидкість, м/с; a_{11} , a_{21} – прискорення, м/с²; t – тривалість, с

II етап. Усталений рух. Етап усталеного руху веденої маси передбачає реалізацію наступних залежностей:

$$a_{22}(t) = 0; \tag{16}$$

$$v_{22}(t) = v_2^{nom} = const; \tag{17}$$

Користуючись підстановкою, використаною при розрахунку законів руху на етапі розгону можна довести, що рівності (16) та (17) можуть бути справедливими

лише за умови, що

$$a_{12}(t) = a_{22}(t) = 0;$$

$$v_{12}(t) = v_{22}(t) = v_2^{НОМ} = const;$$

Використовуючи відомі числові значення, отримуємо графічне представлення етапу усталеного руху. Межа I та II етапів представлена на рис. 15.

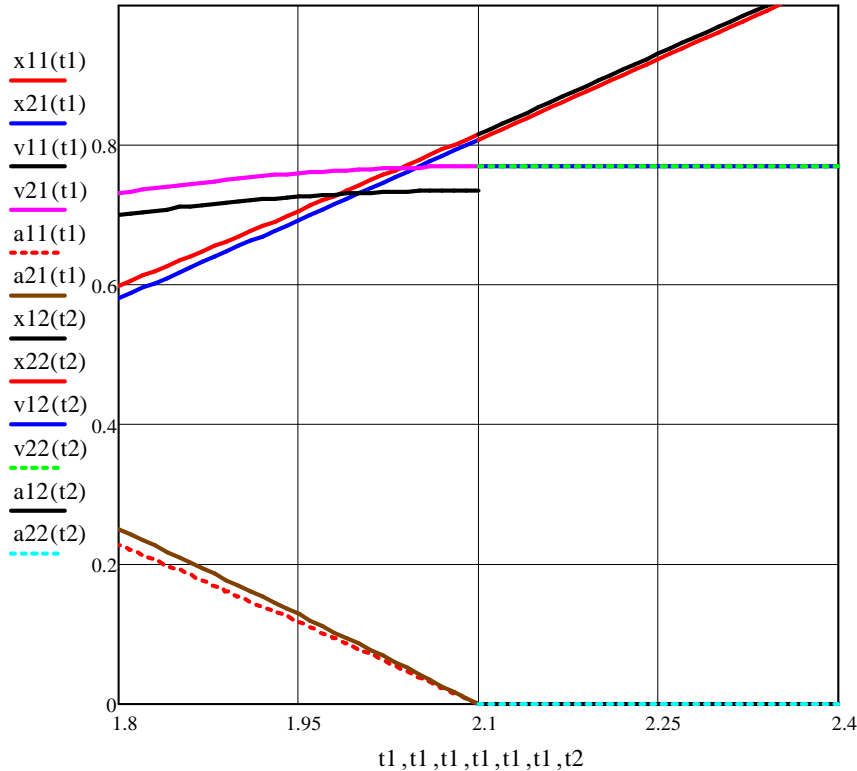


Рис. 15. Жорсткий удар на межі етапів розгону і усталеного руху для ведучої та веденої мас відповідно: x_{11} , x_{21} ; v_{11} , v_{21} ; a_{11} , a_{21} – переміщення (м), швидкість (м/с) та прискорення (м/с²) на етапі розгону; x_{12} , x_{22} ; v_{12} , v_{22} ; a_{12} , a_{22} – переміщення (м), швидкість (м/с) та прискорення (м/с²) на етапі усталеного руху; t_1 , t_2 – тривалість етапів, с

Оскільки лінії прискорень та швидкостей ведучої і веденої мас співпадають, для наочності вони представлені пунктиром. Бачимо, що на межі переходу до усталеного руху присутній стрибок швидкості ведучої маси на скінченну величину. Ця обставина свідчить про наявність жорсткого удару. Прискорення в цій точці теоретично повинно мати нескінченну величину. Недоцільність використання подібної комбінації законів руху очевидна, оскільки метою розв'язання поставленої задачі є отримання безударного режиму роботи механізму.

Графіки розрахованих залежностей динамічних параметрів за умови відсутності усталеного руху представлені на рис. 16.

Аналітичні моделі дозволяють знайти параметри керування і оцінити їх значимість в досягненні поставленого завдання по швидкодії чи обмеженню силових показників процесу. Моделі, представлені в розділі 4.2, побудовані з використанням сталої сили опору. У реальних процесах ця величина може бути функцією часу, оскільки в дійсності залежить від багатьох факторів, зокрема від швидкості. Проте алгоритм розрахунку при цьому не зміниться, потрібно лише врахувати особливості процесу.

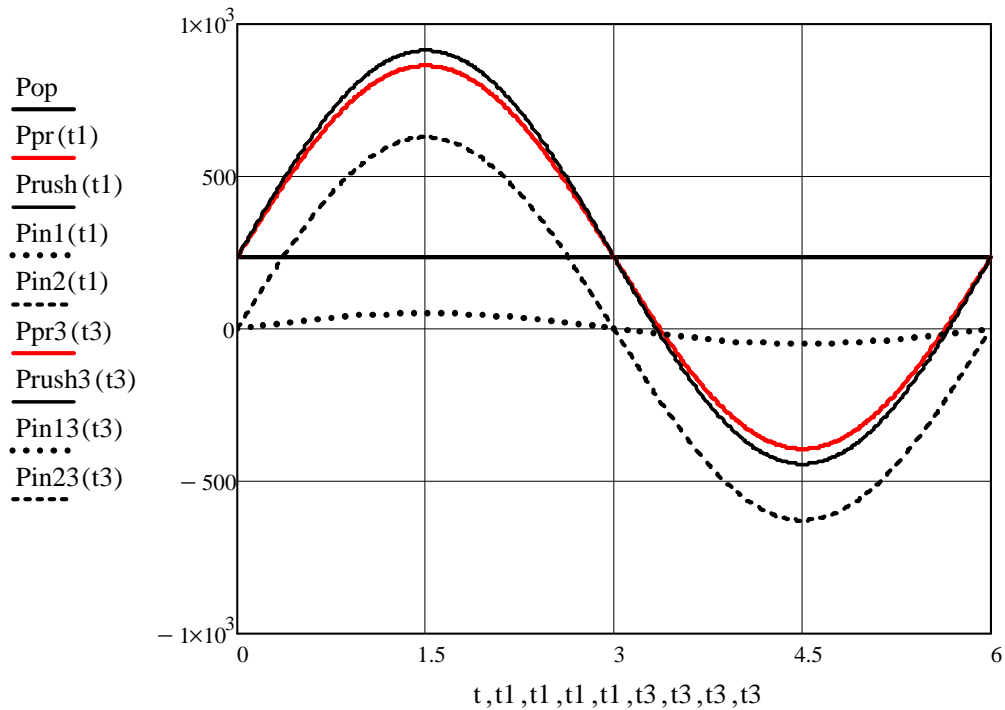


Рис. 16. Динамічні параметри (H) за відсутності етапу усталеного руху (розгін та гальмування відповідно): $Prush$, $Prush3$ – рушійна сила; Ppr , $Ppr3$ – сила пружності; $Pin1$, $Pin13$ – сила інерції ведучої маси; $Pin2$, $Pin23$ – сила інерції веденої маси; Pop – сила опору; $t1$, $t3$ – тривалість етапів, s ; t – тривалість переміщення, s

Підводячи підсумки даного розділу, варто відзначити наступне:

1. Отримано залежності зміни рушійної сили в часі, які мають бути точно відпрацьовані системою керування електроприводами за необхідності реалізації синусоїдального закону руху ведучої маси; результати коливань рушійної сили представлені як у числовому, так і графічному вигляді; перші є придатними для складання програм керування приводами, другі – для наочності і зручності аналізу з точки зору можливості їх застосування.
2. Отримано аналітичні залежності рушійної сили в часі за яких кінематика системи абсолютно точно відтворить синусоїдальний закон зміни прискорення веденої маси. Тобто визначено аналітику безударного режиму роботи системи. Також встановлено, які закони руху при цьому буде мати ведуча маса.
3. Визначено, що поставлені умови не можна виконати за наявності етапу усталеного руху, оскільки при цьому виникають жорсткі удари. Результати представлені аналітично та графічно на основі розрахунків для реальної машини.

ВИСНОВКИ

На базі виконаного літературного огляду, аналізу рівня теоретичного опису перехідних процесів, власних експериментальних і обчислювальних досліджень можна сформулювати наступні висновки і узагальнення.

1. Дослідження, спрямовані на створення теоретичної бази розрахунків

механізмів машин для формування і розформування укрупнених вантажних одиниць, відповідають на питання щодо визначення перспективних шляхів розвитку такого обладнання. Їх доцільність і необхідність зумовлюється запитами промисловості в підвищенні ефективності та надійності роботи обладнання, а також показників якості продукції.

2. Шляхом проведення експерименту було встановлено суттєве зменшення моменту електродвигуна в межах частот, нижчих від номінальної, що має неодмінно враховуватись при проектуванні регульованих приводів з використанням інверторів струму. Важливою особливістю роботи такого приводу на низьких обертах при зменшеній частоті струму є підвищений рівень нагрівання. Стандартна конструкція корпусу не задовольняє потребам теплообміну, а штатний вентилятор не забезпечує ефективне охолодження.

3. Описано кінематику та динаміку при переміщенні вантажів. За рахунок вибору геометричних і кінематичних параметрів, а також співвідношень між ними, можливе отримання плавності роботи машини періодичної дії без застосування додаткових засобів компенсації нерівномірності ходу на зразок маховиків. При цьому вирішується питання раціонального використання енергоресурсів, оскільки останні витрачаються лише на виконання корисної роботи, тобто переміщення.

4. Детально описано перехідні процеси при застосуванні електропривода на основі двомасових еквівалентних моделей, а також показано можливості втручання в роботу двигунів і регулювання параметрів їх роботи. Встановлено шляхи та засоби впливу на роботу електропривода ТС і оцінено їх значимість в досягненні поставленого завдання по швидкодії чи обмеженні силових показників процесу.

5. Обґрунтовано доцільність застосування частотного регулювання електроприводів з векторним управлінням як засобу реалізації необхідних параметрів технологічного процесу і автоматизації виробництва. Встановлено значні резерви, щодо економії енергоресурсів, при переміщенні вантажів. Зокрема мінімізація енерговитрат, пов'язаних з перехідними режимами, можлива за рахунок зміни потужності привода відповідно до величини технологічного опору і тим самим підвищення ККД двигуна. Також доцільним є корисне використання накопиченої під час розгону кінетичної енергії в режимах вибігу шляхом застосування рекуперативного гальмування двигуном.

6. Оскільки режими роботи пакувального обладнання не мають зовсім або мають незначні проміжки усталеного руху, частка перехідних процесів значно збільшується і вони вимагають більш детального розгляду. Це обумовлено постійним прагненням підвищити швидкодію обладнання і зменшити енерговитрати в режимі роботи «розгін-гальмування». З цією метою створено готові моделі і наведено зручні методи розв'язання такого роду задач, що дозволяють математично описати процеси, які відбуваються при динамічних і статичних режимах роботи обладнання.

7. Відомо, що закон руху ведучої маси впливає на характер і величину навантаження пружного елемента. З точки зору плавності роботи машини найоптимальнішим є синусоїдальний закон зміни прискорення, оскільки при ньому виключаються як жорсткі, так і м'які удари. Тому важливим є вибір засобу реалізації такого закону руху. Обґрунтовано, що за наявності електроприводів з

використанням серводвигунів цю задачу доцільно вирішувати шляхом застосування ЧРП.

8. Отримано залежності зміни рушійної сили в часі, які мають бути точно відпрацьовані системою керування електроприводами за необхідності реалізації синусоїдального закону руху веденої маси. Результати коливань рушійної сили представлені як у графічному, так і числовому вигляді. Вони наочні, зручні для аналізу і придатні для складання програм керування приводами. Останні є необхідними для управління промисловим контролером та інвертором струму.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Моделювання процесів перевантаження пакованих виробів на приймальну площину шляхом зіштовхування / А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, Є.В. Костюк, М.М. Хваста. // Упаковка. – 2010. – № 4. – С. 51–53.

Особистий внесок: розробив математичну модель.

2. Визначення вхідних параметрів системи для реалізації синусоїдального закону зміни прискорення веденої маси / Є.В. Костюк, В.С. Костюк // Харчова промисловість. – 2011. – № 10, 11. – С. 279–286.

Особистий внесок: розробив та дослідив модель системи переміщення веденої маси за синусоїдальним законом руху, отримав аналітичні результати.

3. Навантаження і енергетичні витрати в машинах ліній пакування / А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, А.А. Палаш, Є.В. Костюк. // Упаковка. – 2012. – № 6. – С. 35–37.

Особистий внесок: проаналізував можливості використання накопиченої кінетичної енергії в режимі сповільненого руху.

4. Патент України на винахід № 99996, МПК В65В 35/30, В65В 35/00. Пристрій для розподілення потоку виробів циліндричної форми / Костюк Є.В., Костюк В.С., Валіулін Г.Р., Жарова С.І. – Заявка № а 2011 15244; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20.

Особистий внесок: запропонував виконання механізму затримки виробів.

5. Патент України на винахід № 100099, МПК F16Н 3/74, F16Н 48/00. Перетворювач передаточного відношення / Костюк Є.В., Костюк В.С., Соколенко А.І., Валіулін Г.Р., Лотоцький О.М. – Заявка № а 2011 15242; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.

Особистий внесок: запропонував виконання механізму зміни передаточного відношення.

6. Патент України на винахід № 100316, МПК В65В 35/30, В65В 5/10, В65В 35/00. Пристрій для розподілення потоку виробів циліндричної форми / Костюк Є.В., Костюк В.С., Валіулін Г.Р., Жарова С.І. – Заявка № а 2011 06912; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.

Особистий внесок: запропонував виконання рухомого диска орієнтації виробів.

7. Дослідження динаміки механізму вкладання рулонів пакувального матеріалу на піддони в складі машини Gantry Area – 120 / Є.В. Костюк // Додаток до журналу «Упаковка»: X Міжнародна студентська науково-практична конференція з проблем пакувальної індустрії. Тези доповідей. – Київ, 2009. – С. 51–53. *Особистий внесок: дослідив динаміку механізму вкладання рулонів.*

8. Регульований електропривод у складі пакувального обладнання / Є.В. Костюк, В.С. Костюк, А.В. Мудрак // Додаток до журналу «Упаковка»: Матеріали доповідей VIII Науково-практичної конференції молодих вчених «Новітні технології пакування». – Київ, 2012. – С. 22–25.

Особистий внесок: виконав аналіз регульованого електроприводу пакувального обладнання.

9. Патент України на корисну модель № 66154, МПК В65В 35/00, В65В 5/10. Пристрій для розподілення потоку виробів циліндричної форми / Валіулін Г.Р., Костюк В.С., Костюк Є.В., Жарова С.І. – Заявка № у 2011 06915; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.

Особистий внесок: запропонував виконання механізму орієнтації виробів.

10. Патент України на корисну модель № 76229, МПК В65В 5/10, В65В 21/00, В65G 65/02. Пристрій для виймання склопосуду із транспортної тари / Валіулін Г.Р., Костюк Є.В., Костюк В.С., Кривопляс-Володіна Л.О., Жарова С.І. – Заявка № у 2012 07604; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24.

Особистий внесок: запропонував виконання механізму перевантаження.

11. Патент України на корисну модель № 70894, МПК F16H 3/74, F16H 48/00. Перетворювач передаточного відношення / Костюк Є.В., Костюк В.С., Соколенко А.І., Валіулін Г.Р., Лотоцький О.М. – Заявка № у 2011 15250; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.

Особистий внесок: запропонував механізм зміни частоти обертання.

12. Патент України на корисну модель № 70896, МПК В65В 35/30, В65В 5/10, В65В 35/00. Пристрій для розподілення потоку виробів циліндричної форми / Костюк Є.В., Костюк В.С., Валіулін Г.Р., Жарова С.І. – Заявка № у 2011 15253; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.

Особистий внесок: запропонував виконання механізму обмеження переміщення виробів.

13. Дослідження динаміки переміщення вантажів просторовими маніпуляторами з пошуком резервів для заощадження енергії, а також методів її рекуперації / Є.В. Костюк, А.І. Соколенко // Програма і матеріали 76-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – Частина III. – Київ, 2010.

Особистий внесок: запропонував методу дослідження енергетичних витрат просторових маніпуляторів.

14. Особливості нелінійних систем в динаміці машин / С.О. Павлов, А.І. Соколенко, Є.В. Костюк // Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи: Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. – Частина I. – Київ, 2010.

Особистий внесок: запропонував алгоритм дослідження нелінійних систем в динаміці машин.

15. Особливості вибору параметрів обладнання в транспортно-технологічних системах харчових виробництв / Є.В. Костюк, М.М. Хваста // Програма і матеріали 77-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті». – Частина 2 – Київ, 2011.

Особистий внесок: розробив особливості кінематики взаємодії вантажів з робочими органами транспортно-технологічних систем.

16. Регулювання параметрів приводів машин / Є.В. Костюк, В.С. Костюк, С.О. Павлов // Програма і матеріали 78-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті». – Частина II. – Київ, 2012.

Особистий внесок: виконав аналіз параметрів регулювання.

АНОТАЦІЯ

Костюк Є.В. «Удосконалення приводів машин на основі сучасних систем регулювання». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2013.

В дисертації розглянуто особливості розвитку сучасних технологічних процесів пакувальної галузі із врахуванням особливостей роботи приводів машин на основі сучасних систем регулювання. Виконано дослідження використання принципів частотного регулювання електроприводів машин як засобів реалізації потрібних параметрів технологічного процесу системи регулювання з використанням інверторів струму.

На прикладі електромеханічного приводу для формування, перевантаження і розформування масивів продукції, в перехідних процесах динаміки наведені можливості вдосконалення якості технологічних процесів транспортних систем. Особливу увагу приділено дослідженню механічних характеристик асинхронного електродвигуна при роботі на частотах нижче номінальної. Здійснено повний технологічний розрахунок механічного маніпулятора для формування укрупнених транспортних одиниць з отриманням даних для проведення досліджень динаміки. З використанням двомасової моделі, розроблено математичні моделі операцій переміщення вантажів за допомогою маніпулятора пакетоформуючої машини. Розв'язано зворотну задачу динаміки машин, яка передбачає визначення впливу на вхідні параметри системи, за умови забезпечення заданих вихідних динамічних параметрів. Розроблено пропозиції щодо забезпечення абсолютної безударності за досягнення швидкодії в роботі виконавчих органів механізмів за рахунок вибору геометричних і кінематичних параметрів, а також співвідношення між ними. Отримано залежності зміни рушійної сили в часі, що дозволяють складання програм керування приводом. Здійснено впровадження використання отриманих результатів в процесі проектування та виготовлення нових зразків обладнання.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, інвертор струму, закон руху, двомасова модель, динамічні параметри.

АННОТАЦИЯ

Костюк Е.В. «Усовершенствование приводов машин на основании современных систем регулирования». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Национальный университет пищевых

технологий, Киев, 2013.

В диссертации представлены результаты критического анализа, относящиеся к развитию современных технологических процессов упаковочной индустрии, пищевой промышленности, касающиеся особенностей работы приводов машин в переходных процессах динамики с возможностью управления ими.

На примере использования электромеханического привода в частности для формирования, перегрузки и расформирования массивов упакованной продукции рассмотрены возможности совершенствования качества технологических процессов транспортных систем путем усовершенствования приводов машин на основании современных систем регулирования. Поставленная задача исследования имеет цель поиска резервов конструктивного решения оптимизационных задач как уменьшения динамических составляющих процессов работы оборудования, так и создание новых технологий энергосбережения.

В первом разделе выполнен анализ литературных источников и обзор современного состояния развития упаковочного оборудования, которое работает на заключительных стадиях производства, в особенности для формирования укрупненных грузовых единиц. Отдельно рассмотрено место и роль робототехники в упаковочной индустрии, описаны методы моделирования при исследованиях разных процессов технических систем. На основании рассмотренного сделан вывод об актуальности исследований и сформулированы задачи диссертационной работы.

Второй раздел посвящен исследованию принципов частотного регулирования электроприводов машин как средства реализации необходимых параметров технологического процесса. Система регулирования предусматривает использование инвертора тока. Установлены факторы, влияющие на величину коэффициента полезного действия двигателя, оценены возможности резервов экономии энергоресурсов при перемещении грузов. В частности минимизация энергозатрат, связанных с переходными режимами работы, возможна за счет изменения мощности привода в соответствии с технологическим сопротивлением. Также обоснована целесообразность использования накопленной во время разгона кинетической энергии в режиме холостого хода.

В третьем разделе приведена методика исследования статической механической характеристики асинхронного электродвигателя при работе на частотах ниже номинальной с целью определения действительного снижения момента на валу. Представлены результаты создания экспериментальной установки и проведенных исследований в условиях различных видов нагрузки.

В четвертом разделе работы представлены результаты проведения полного технологического расчета механизмов манипулятора для формирования укрупненных транспортных единиц, составлена технологическая карта машины, получены данные для проведения исследований динамики.

Пятый раздел посвящен математическому моделированию операций перемещения грузов с помощью манипулятора пакетоформирующей машины. Составлена аналитическая модель в виде системы уравнений движения масс, определены законы движения ведомых масс с поэтапным их рассмотрением. Решена обратная задача динамики машин, которая предусматривает определение влияния на входные параметры системы, при условии обеспечения заданных выходных параметров функционирования. А именно, определено, какие входящие параметры

необходимо задать, для того чтобы получить желаемый результат абсолютно безударной работы. В аналитическом виде получены законы движения ведущей массы, при которых ведомая масса будет двигаться за синусоидальным законом. Также установлены аналитические зависимости, согласно которым необходимо задавать движущую силу для получения безударного закона движения ведомой массы. Разработаны аналитические модели, позволяющие найти необходимые параметры управления, а также оценить их значимость и допустимость в достижении желаемых результатов по динамическим параметрам или показателям быстродействия процесса.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, инвертор тока, закон движения, двухмассовая модель, динамические параметры.

ANNOTATION

Kostyuk Y.V. «Improvement of the driving gear based on modern control systems». – Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.18.12 – processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical industries. – National University of Food Technologies, Kyiv, 2013.

The development features of modern technological processes of packing industry are considered in dissertation. The work parameters of machines drive guided by the modern adjusting systems are taken into account. There is executed the research of principles of the frequency adjusting of electromechanical drives for machines. The power inverter considered as a means of realization of necessary parameters of technological process.

The improvement possibilities of quality of technological processes of transport systems are brought on the example of electromechanical drive of machine for forming, overload and disbandment of arrays of products. Particular attention is paid to the study of mechanical properties of asynchronous motor operating at frequencies below nominal. It was done a full technological calculation of the mechanical arm for forming an enlarged units to obtain data for dynamics research. An inverse problem of machines dynamics was solved, which involves determining the impact of the input parameters of the system, provided that the output dynamic parameters are set. There are worked out the suggestions for providing of absolutely smooth work with the achievement of fast-acting in process executive branches due to the choice of geometrical and kinematics parameters and also betweenness by them.

Keywords: induction motor, power inverter, law of motion, two-mass model, dynamic parameters.