УДК 621.87

Мехатронні модулі лінійного переміщення обладнання для групового пакування

М.В. Якимчук, к.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ

Сьогодні широким попитом у вітчизняних споживачів користуються товари в груповій упаковці. Груповому пакуванню підлягає різнотипна продукція, що пакована в різні види і типи споживчої упаковки, з широкими ваговими та об'ємними параметрами.

Групове пакування полягає у послідовному формуванні структурних елементів групової упаковки та переміщенні її в транспортну тару або скріпленні обгортковим матеріалом. Кількість і вид технологічних операцій, які виконуються під час формування структурних елементів, залежать від багатьох факторів, у тому числі і від форми виробів. Так, для пакувальних одиниць у формі паралелепіпеда така послідовність представлена на рис. 1.

Машини для групового пакування поділяють за способом укладання сформованих структурних одиниць групової упаковки: з укладанням одиничних упаковок; з укладанням ряду упаковок; з укладанням шару та штабелю упаковок; за видом переміщень структурних елементів групової упаковки: з вертикальним, горизонтальним та комбінованим завантаженням; за конструктивним виконанням робочих органів: зіштовхувальні, піднімально-опускні, коливальні, відвідні, захватні, комбіновані [1].

За видом структури та схемою керування обладнання для групового пакування в аспекті його розвитку можна умовно поділити на три покоління.

Перше покоління характеризується простою структурою і конструкцією робочих органів, які працюють за жорсткою циклічною програмою та виконують порівняно прості закони руху. Системи керування такого обладнання не можуть змінювати послідовність технологічного процесу групового пакування.

Друге покоління обладнання створене на базі модульного принципу проектування шляхом поєднання декількох модулів, які виконують певні технологічні функції, мають узгоджені установочні та приєднувальні розміри і можуть легко з'єднуватись, роз'єднуватись та замінятись під час їхнього ремонту або модернізації з метою отримання інших функцій. Система керування такого обладнання здатна працювати за гнучкою програмою зміни технологічного процесу, що дає можливість реалізувати достатньо складні технологічні процеси. Використання в таких системах різного типу датчиків забезпечує можливість сприймати поточну технологічну інформацію та активно реагувати на зміну характеристик зовнішнього середовища.

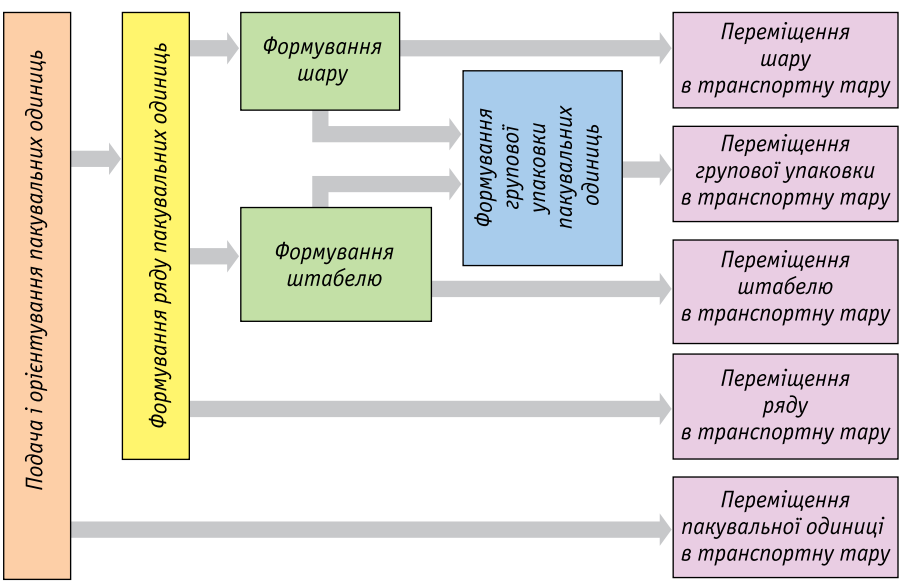


Рис. 1. *Послідовність формування групової упаковки з пакувальних одиниць у формі паралелепіпеда*

Третє покоління — інтегральні комплекси, створенні на базі мехатронних модулів, кожен з яких як функціонально, так і конструктивно є самостійним виробом з великою кількістю синергетично зв'язаних між собою характеристик. Основною відмінністю третього покоління обладнання є багаторівнева система керування. Вищі рівні забезпечують керування мехатронним модулем за гнучкою програмою зміни технологічного процесу за рахунок введення нових координат позиціювання робочих органів та можливості реалізації ними заданих законів руху. Такі системи мають розвинені зворотні зв'язки, які забезпечують можливість сприймати інформацію про зовнішнє середовище. Таке обладнання тільки починає розвиватись і потребує осмислення та розробки теорії його побудови шляхом впровадження агрегатно-модульної конструкції.

Модуль (від лат. modulus) означає «міра». У науково-технічному лексиконі назбиралося багато термінів «модуль». Аналіз практики застосування цього терміну в літературних джерелах дав можливість стверджувати, що для технічних виробів найбільш характерним терміном є «модуль виробу». Деякі автори пропонують застосовувати його для фізичних моделей як «міру завершеності систем, у які дані модулі входять» [2]. Для оцінювання різних видів таких систем вводиться поняття «фізичний модуль», під яким розуміють самостійний виріб, який характеризується конструктивною та технологічною закінченістю і має кінцеві фіксовані параметри. «Фізичний модуль» пропонують поділити на два модуля: «конструктивний модуль» та «функціональний модуль» [3]. Під терміном «конструктивний модуль» автори розуміють частину конструкції виробу, яка за габаритними і приєднувальними розмірами та типом конструкції однакова для технічних систем близького або різного функціонального призначення і передбачає в них конструктивну взаємозамінність. Термін «функціональний модуль» застосовується до частини виробу або системи, яка виконує одну або декілька функцій, за установочними та приєднувальними розмірами може легко з'єднуватися з іншими функціональними модулями, створюючи складну технічну систему, а також може легко роз'єднуватись і замінятись з метою отримання системи з іншими функціональними характеристиками під час їхнього ремонту або модернізації.

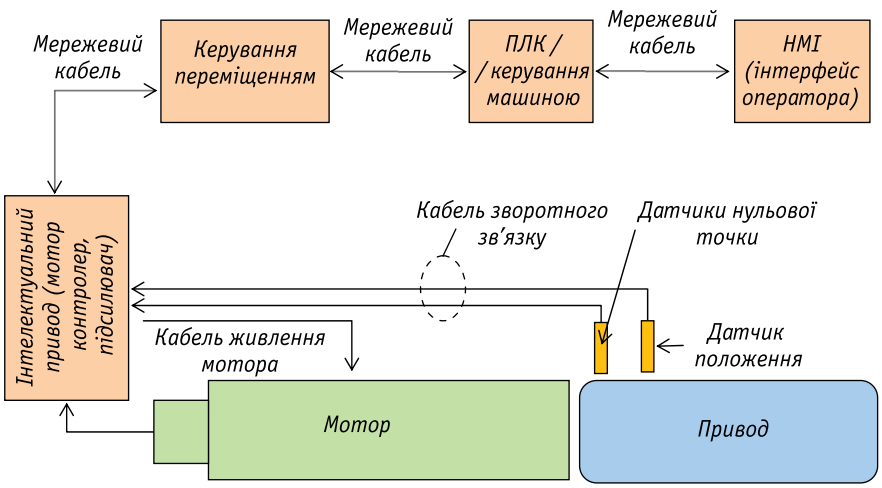


Рис. 2. *Структура мехатронного модуля лінійного переміщення з електроприводом*

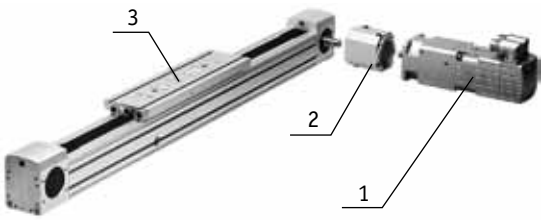


Рис. 3. *Компонування «осей» з електродвигуном: 1 — електродвигун; 2 — муфта; 3 — «вісь»*

З розвитком електронних засобів контролю функціональні модулі стали комплектуватись новітніми системами керування, які у процесі приєднання модулів теж легко з'єднуються в єдину систему керування.

Взаємопроникнення електричної системи в механічну та синергетична апаратно-програмна інтеграція складових елементів функціонального модуля, які мають різну фізичну природу, надають функціональним модулям вищого рівня розвитку — мехатронний модуль, який за визначенням є функціонально і конструктивно самостійним виробом [3]. До елементів різної фізичної природи відносяться механічні, електричні, електронні, цифрові, пневматичні, гідравлічні, інформаційні та інші складові.

Мехатронні модулі, як і функціональні, можуть об'єднуватись у мехатронну систему. Формування мехатронних модулів відбувається шляхом поєднання між собою окремих модуль-елементів з виконавчими, керувальними та інформаційними функціями. До виконавчих модуль-елементів відносяться механізми із пневматичним, гідравлічним або електричним приводом. Керувальні модуль-елементи включають у себе блоки керування приводом і є закінченим виробом з уніфікованими каналами зв'язку. Інформаційні модуль-елементи забезпечують отримання інформації, необхідної для функціонування системи керування та визначення стану навколишнього середовища.

На основі аналізу конструкцій обладнання для групового пакування встановлено, що найбільш широко використовувані виконавчі модуль-елементи виконують такі функції: переміщення та переорієнтація упаковок; формування ряду, шару, стопи, штабелю групової упаковки; подача тари до місця заповнення; укладання

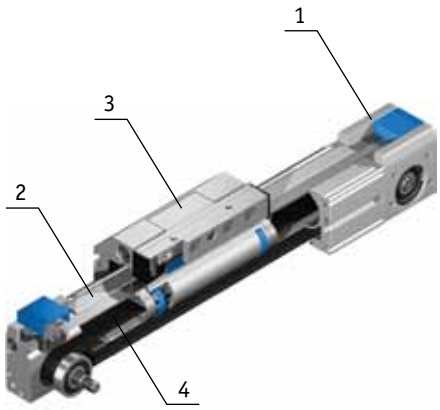


Рис. 4. «Вісь» із зубчато-пасовою передачею: 1 — корпус, 2 — напрямна, 3 — каретка, 4 — зубчато-пасова передача

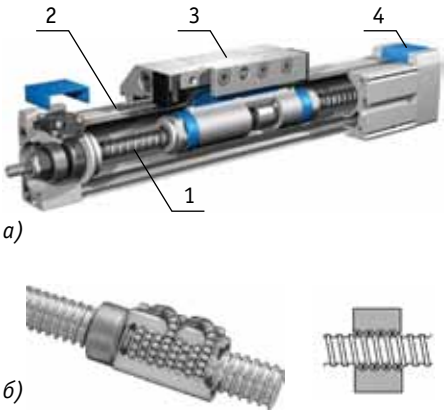


Рис. 5. «Вісь» з передачею «гвинт — гайка» (а): 1 — передача «гвинт — гайка», 2 — напрямна, 3 — каретка, 4 — корпус; конструкція «підшипника кочення» (б)

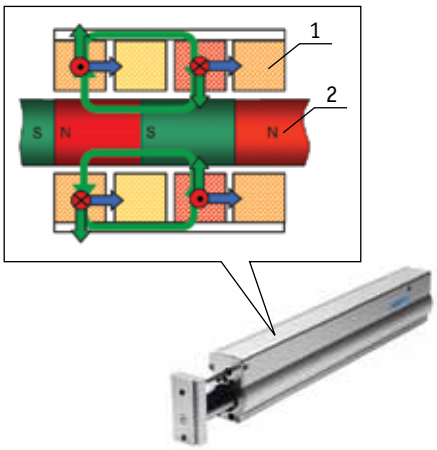


Рис. 6. Схема конструкції та принципу роботи лінійного двигуна: 1 — статор, 2 — ротор

структурно сформованих одиниць в тару; закривання тари. Встановлено, що похибка позиціювання виконавчих модуль-елементів у середньому становить 0,1 мм, а їхній цикл роботи описується відносно простою сукупністю переміщень.

Впровадження модульної системи проектування обладнання для групового пакування потребує мінімізації номенклатури вузлів та модулів. Можна стверджувати, що відносно нову конструкцію пакувального обладнання реально розробити на базі модулів лінійного переміщення, підйому та повороту, які в комплексі створюють модульну систему з додатковим набором змінних захоплювальних пристроїв різного виду та систем керування.

Попередньо проведений аналіз структури обладнання для групового пакування дав можливість установити, що найбільш вживаними є модулі лінійного переміщення з електричним та пневматичним приводом. Такі модулі повинні забезпечити переналагоджування циклограми та координат зупинки робочих органів, законів руху та точності позиціювання лише шляхом зміни виконавчої програми.

А тому метою даної статті є аналіз структури мехатроних модулів лінійного переміщення з використанням пневматичних та електричних приводів з можливістю реалізації ними заданого закону руху та позиціювання робочих органів.

Структура мехатронного модуля лінійного переміщення з електроприводом наведена на рис. 2.

До складу мехатронного модуля входять: мікропроцесорна система керування, підсилювачі потужності, механізми передачі інформації, датчики зворотного зв'язку. Як приводи використовуються покрокові або серводвигуни постійного та змінного струму. Кожен модуль комплектується датчиками зворотного зв'язку для контролю швидкості та положення.

Особливістю конструкції мехатронного модуля лінійного переміщення обладнання для групового пакування є наявність пристрою перетворення обертального руху вала електродвигуна у поступальний рух робочого органу. Сучасні конструкції таких пристроїв виробники називають «осями». Робочим елементом «осей» є зубчатий пас або гвинтова пара. Компонування «осей» приводом наведене на рис. 3.

Перший тип «осей» (рис. 4) складається із профільного корпусу 1, у верхній частині якого закріплена напрямна рейка 2. Рейка служить для утримання спеціальної каретки 3 та надає їй можливість виконувати зворотно-поступальний рух. По краях корпусу закріплені натяжний та приводний барабани, навколо яких натягнуто зубчатий пас 4, з'єднаний з кареткою.

Прикладання крутного моменту до валу приводного барабану призводить до лінійного переміщення каретки. Перевагою мехатронних модулів, у яких використовуються «осі» із зубчато-пасовою передачею, в обладнанні для групового пакування є можливість реалізації лінійного переміщення кареток з великими швидкостями за заданим законом руху, що забезпечить можливість отримання високої продуктивності нових зразків обладнання з оптимальними значеннями кінематичних та динамічних параметрів переміщення.

Другий тип «осей» (рис. 5) передбачає використання у своїй конструкції передачі «гвинт — гайка» 1, яка перетворює обертальний рух вала двигуна у поступальний рух каретки (рис. 5а). Для зменшення сил тертя у передаточному механізмі між гвинтом та гайкою додатково може використовуватись принцип «підшипника кочення» (рис. 5б). Конструкції мехатронних модулів, у яких використовуються «осі» з передачею «гвинт — гайка», забезпечують високу точність позиціювання виконавчих пристроїв обладнання для групового пакування з мінімальним впливом динамічних показників під час їхнього переміщення.

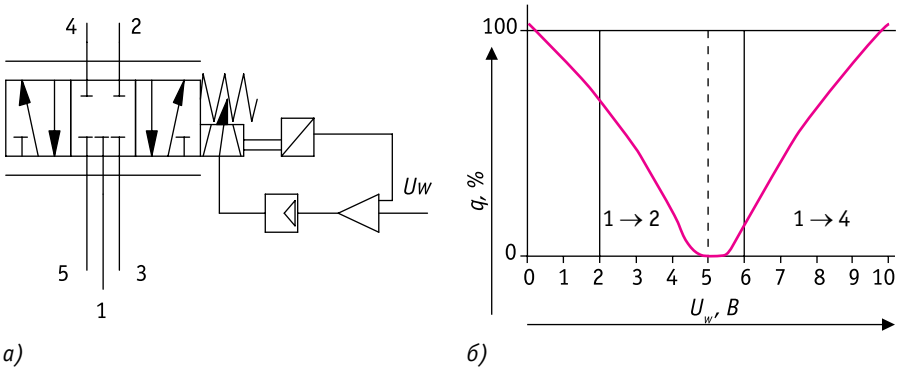
Значні перспективи застосування в обладнанні для групового пакування мають мехатронні модулі з лінійними двигунами. Конструкція лінійних двигунів відома відносно давно [4],

але з відкриттям нових технологій та матеріалів використання лінійних двигунів знову стало актуальним питанням. Лінійний двигун є електричною машиною, принцип роботи якої заснований на використанні енергії руху магнітного поля (рис. 6).

Якщо обмотку статора 1 лінійного двигуна підключити до мережі змінного струму, то утворюється магнітне поле, вісь якого буде переміщатися вздовж повітряного зазору із швидкістю, пропорційною частоті напруги живлення і довжині полюсного поділу. Магнітне поле, що переміщується вздовж цього зазору, перетинає провідники обмотки ротора 2 та індукує в них електрорушійну силу, під дією якої в обмотці почне протікати струм. Взаємодія струму з магнітним полем призведе до появи сили, що діє за відомим правилом Лєнца, в напрямку переміщення магнітного поля. Ротор 2 під дією даної сили почне рухатись.

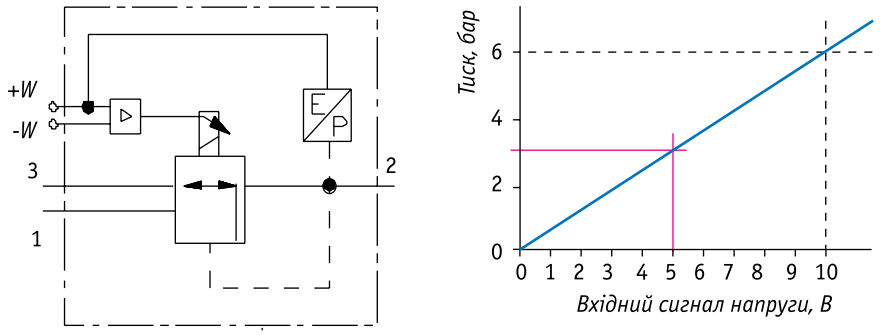
Використання лінійних двигунів у мехатронних модулях лінійного переміщення є перспективним напрямком простого способу реалізації поступального руху робочих органів, насамперед переміщення в горизонтальній та вертикальній площинах. Даний привод за наявності слідкувальної схеми керування може забезпечити реалізацію заданого закону руху з великою точністю зупинки у проміжних точках ходу та просте переналаджування їхніх координат на рівні програмного забезпечення.

Більш широке застосування в обладнанні для групового пакування отримав пневматичний привод, який має певні технічні переваги над електричним. До них можна віднести велику швидкодію; відносно просту конструкцію лінійних пневмоциліндрів і поворотних пневмодвигунів, здатних реалізувати необхідні рухи без використання складних механічних передач; надійність роботи в широкому діапазоні температур. Варто звернути увагу на експлуатаційні переваги пневмоприводу: пожежо- і вибухобезпечність; можливість використання простих пристроїв для захисту від перевантажень; вібростійкість; можливість компенсації і часткового



а) б)

Рис. 7. *Принципова схема (а) та залежність зміни вхідної напруги від величини витрат (б) пропорційного розподільника*



а) б)

Рис. 8. *Принципова схема (а) та залежність зміни вхідної напруги від величини тиску (б) пропорційного регулятора тиску*

зберігання енергії; допуск до прямого контакту з харчовими продуктами. До основних недоліків пневмоприводу слід віднести низьку питому потужність, що зумовлено обмеженням робочого тиску не більше 0,8 МПа, а також низьку жорсткість, пов'язану із стисканням повітря. Саме низька жорсткість пневмоприводу створює труднощі під час розробки мехатронних систем, їхнього налагодження і програмування систем керування.

Аналіз конструкцій дав можливість виділити два типи мехатронних модулів для лінійного переміщення із пневмоприводом. Перший тип забезпечує зупинку виконавчих пристроїв у крайніх позиціях з можливістю реалізації заданого закону руху і є наразі класичною схемою роботи пневмоприводу [5]. Така схема не потребує складної системи керування та контролю, а її дослідження описані в технічній літературі. Більш сучасним є другий тип мехатронного модуля, який розроблений на рівні слідкувального приводу та здатен забезпечити переміщення виконавчих пристроїв за заданими законами руху з одночасною зупинкою у проміжних точках ходу. Ураховуючи малу жорсткість пнемоприводу і, як наслідок, необхідність забезпечити м'яку безударну зупинку рухомих мас на підході до кінцевих позицій, особливу увагу приділено конструкціям керувального та інформаційного пристроїв.

За принципом роботи елементної бази керувального пристрою мехатронні модулі для лінійного переміщення із пневмоприводом можна умовно поділити на дві групи. У першій групі реалізація переміщення здійснюється за рахунок зміни витрат повітря, що дозволяє забезпечити швидкісні характеристики руху. Основним пневматичним елементом у таких схемах є пропорційний розподільник (рис. 7). Керування пропорційними розподільниками здійснюють

Таблиця.
Порівняльна характеристика лінійних мехатронних модулів з використанням пневматичних та електромеханічних приводів

Технологія приводу	Пневматичні приводи	Приводи з пасом	Приводи з передачею «гвинт — гайка» ковзання	Приводи з передачею «гвинт — гайка» кочення	Лінійний двигун
Навантаження	++	++	++	+++	++
Хід	+++	+++	++	++	+++
Швидкість	++	+++	+	++	+++
Прискорення	++	+++	+	+	+++
Точність зупинки	++	++	+++	+++	+++
Шум	++	+++	++	++	+++
Жорсткість	++	++	+++	+++	+++
Ціна	+++	++	++	++	++
Гнучкість переналагодження	+++	+++	+++	+++	+++

Оцінки параметру: «+» — «добре»; «++» — «дуже добре»; «+++» — «відмінно»

шляхом зміни напруги в межах від 0 до 10 В або струму в межах від 4 до 20 мА. Характеристика пропорційного розподільника з нульовою точкою 5 В наведена на рис. 7б. Зменшення або збільшення напруги відносно нульової точки призводить до пропорційної зміни витрат повітря в отворах пневмоциліндра. Розподільник має внутрішню систему зворотного зв'язку, яка передбачає контроль за витратами.

До другої групи відносяться пристрої, які забезпечують переміщення шляхом зміни тиску повітря та дозволяють реалізувати силові характеристики приводу. Основним пневматичним елементом у таких схемах є пропорційний регулятор тиску (рис. 8).

Аналіз конструкцій пропорційних регуляторів показав, що в останніх моделях використовується внутрішня мікропроцесорна система контролю тиску із вбудованим зворотним зв'язком, яка забезпечує похибку зміни тиску в межах до 0,01 бар.

На вибір конструкції мехатронного модуля впливає багато факторів, серед яких межі кінематичних та динамічних характеристик роботи, ефективність використання приводу та системи керування ним в напрямках реалізації заданих законів руху, точність позиціювання, гнучкість заміни технологічного циклу, собівартість системи керування.

Проведений порівняльний аналіз мехатронних модулів з використанням пневматичних та електричних приводів за наведеними ознаками, представлено в таблиці.

Таким чином найбільш перспективними мехатронними модулями лінійного переміщення в обладнанні для групового пакування є мехатронні модулі з лінійним двигуном та пневмоприводом. Варто відмітити перспективність застосування лінійних двигунів, які мають ряд переваг над іншими електроприводами для реалізації лінійного переміщення.

Література

1. *Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О.* Пакувальне обладнання: Підручник. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 746 с.

2. *Колодин И.М., Волошина Л.В.* Модульный принцип создания новой техники в машино- и приборостроении. — К.: Укр.НИИНТИ, 1982. — 51 с.

3. Агрегатно-модульная система средств автоматизации механосборки изделий приборостроения АСАМС: Каталог. — С.: НИИтехприбор, 1984. — 53 с.

4. *Соколов М.М., Сорокин Л.К.* Электропривод с линейным и асинхронными двигателями. — М.: Энергия, 1979. — 152 с.

5. *Дмитриев В.Н., Градецкий В.Г.* Основы пневмоавтоматики. — М.: Машиностроение, 1973. — 360 с.

Мехатронные модули линейного перемещения оборудования для группового упаковывания
Н.В. Якимчук, к.т.н.
Сегодня широким спросом у отечественных потребителей пользуются товары в групповой упаковке. По характеру структуры и схем управления оборудование для группового упаковывания в аспекте его развития можно условно разделить на три поколения. Третье поколение оборудования только начинает развиваться и требует осмысления и разработки теории его построения путем внедрения агрегатно-модульной конструкции на базе мехатронных модулей. Первые достижения на этом пути, как показывает практика, появляются на рубеже перехода количества в качество. Такой подход позволяет уменьшить время проектирования нового оборудования, и обеспечить возможность его быстрой перенастройки при изменении технологических или технических условий работы.
Ключевые слова: мехатронный модуль; модульный принцип; линейный привод; пневматический привод.

Mechatronic modules of the linear displacement for packaging equipment
M. Yakymchuk, Ph.D.
Today products in the group packing are in great domestic demand. By the nature of the structure and control circuits, the equipment for bulk packaging in terms of its development can be divided into three generations. The third generation of equipment is just beginning to develop grow and needs understanding and working out of its construction by introducing aggregate-based modular on based mechatronic modules. First achievements at this direction, as practice shows, appear at the point of transformation of quantity into quality. Such approach makes it possible to reduce term for the design of new equipment and ensure its rapid changeover when changing technological or technical work environment.
Key words: mechatronic module; a modular principle; linear actuator; pneumatic actuator.