

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАЦІОНАРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБМОТУВАННЯ ПІДДОНІВ З ВАНТАЖАМИ

У статті проаналізовано технологічний процес напівавтоматичного упакування вантажів на піддонах. Обґрунтовано робочу гіпотезу та запропоновано компоувальне рішення стаціонарної установки для обмотування навантажених піддонів з одним активним приводом. Розглянуто можливості забезпечення заданого технологічного процесу упакування вантажів на піддонах за допомогою запропонованого палетообмотувача. У програмному продукті SolidWorks реалізовано твердотільну модель запропонованої установки та розглянуто особливості її функціонування. Проведено аналіз кінематики приводу удосконаленої установки та обґрунтовано її окремі конструктивно-кінематичні параметри. У програмному продукті SolidWorks проведено імітаційне моделювання руху плівки в процесі обмотування вантажу на піддоні, побудовано відповідну траєкторію руху плівки та встановлено її необхідну довжину.

Ключові слова: піддон, вантаж, плівка, упакування, палетообмотувач, імітаційне моделювання.

V.M. KORENDIY, P.R. DMYTERKO, Y.Y. NOVITSKYI

Lviv Polytechnic National University

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE STATIONARY PLANT FOR WRAPPING PALLETS WITH CARGOES

In the paper, the overview of the modern pallet forming equipment is carried out and the technological process of semi-automatic packaging of the cargoes on pallets is analysed. In particular, seven steps of this process are considered in detail: 1) the installation of pallets with cargo on a pallet-wrapper; 2) lowering the clamping device; 3) fastening the end of the stretch film; 4) wrapping pallet; 5) lifting of the clamping device; 6) cutting of stretch film; 7) removing pallets with a load from a pallet-wrapper. The working hypothesis is substantiated and the design solution of the stationary machine for pallets wrapping with one active drive consisting of one conical gear and two chain transmissions and without the complicated control system is proposed. The possibilities of ensuring the prescribed technological process of cargoes packaging with a help of the proposed wrapping plant are considered. The solid-state model of the proposed machine for pallets wrapping is implemented in SolidWorks software and its operational features are considered. The analysis of kinematics of the drive of the improved plant is carried out and some of its structural and kinematic parameters are substantiated. The trajectory of the carriage with a roll of packaging material was constructed, the roll's speed dependencies were determined, and a formula was derived for analysing the cost of the film during the process of wrapping loads on pallets of various sizes. The simulation modelling of the film motion during the process of cargo wrapping is carried out, the corresponding film motion path is constructed and its necessary length is calculated. According to the results of the virtual experiment, there were concluded the satisfactory convergence of the results of theoretical studies and experimental investigations (the error is within 10%).

Keywords: pallet, cargo, film, packaging, pallets wrapping machine, simulation modelling.

Постановка проблеми. Сучасний стан пакувального виробництва вражає різноманітністю своєї продукції [1–17]. Яскрава та якісна упаковка товару є одним із вирішальних чинником його успішного вибору [1; 2]. Це вимагає використання сучасного та досконалого обладнання.

Особливе місце серед пакувального обладнання займають палетайзери, палетоформувальні та палетообмотувальні машини. Ручне палетування є дуже трудомістким процесом, тому на високотехнологічних виробництвах застосовують роботизовані (автоматизовані) палетайзери [10; 14; 15].

Аналізуючи сучасний ринок палетоформуючого обладнання, можемо зробити висновок про постійне здорожчання та ускладнення конструкцій палетувальних машин за рахунок використання складних систем автоматичного керування та декількох активних приводів, які відповідають за кожну з технологічних функцій машини [1; 3; 7; 16; 17]. При цьому, більшість вітчизняних підприємств, бажаючи зекономити, змушені використовувати напівавтоматичне та ручне палетоформувальне обладнання [1; 2; 4].

Тому актуальними залишаються завдання розроблення і дослідження спрощених компоувальних схем палетоформувальних машин, які могли б використовувати лише один активний привід та без застосування додаткових електронних систем керування автоматично виконувати свої функції.

Аналіз досліджень та публікацій. Масштабний розвиток пакувального обладнання розпочався приблизно у середині минулого століття [1; 2; 12; 13]. Із удосконаленням засобів автоматизації та активним впровадженням нових інформаційних технологій з кожним роком змінювалися підходи до упакування і складування вантажів на піддонах [3; 14; 15]. Сучасні тенденції розвитку машинобудівної галузі в цілому та пакувальної індустрії зокрема передбачають активне впровадження електронних систем керування та повну автоматизацію роботи відповідного устаткування із мінімізацією ручної праці [16; 17]. Це дозволяє суттєво підвищити продуктивність виробництва і знизити собівартість продукції, однак вимагає наявності висококваліфікованого обслуговуючого персоналу. Для конкретних виробничих умов необхідно постійно збалансовувати матеріальні витрати на закупівлю й обслуговування відповідного обладнання, утримання персоналу тощо із реальними прибутками, отриманими в результаті цієї виробничої діяльності. Тому в багатьох випадках використовується напівавтоматичне технологічне обладнання (зокрема, і палетувальні установки), яке з одного боку має спрощене конструктивне виконання та дешевші системи керування, а з іншого – дозволяє знизити вимоги до професійного рівня обслуговуючого персоналу.

Виділення невіршених питань. Одним із основних недостатньо вирішених завдань, які стоять перед дослідниками і розробниками палетуального обладнання, є створення конструктивно і функціонально простої установки для обмотування палет, що володіє більшістю функцій сучасного обладнання, побудованого на основі складних систем автоматичного керування з декількома активними приводами. Запропоноване у даній роботі конструктивне виконання стаціонарного палетообмотувача дозволить суттєво знизити його вартість та спростити процеси обслуговування і ремонту зі збереженням переваг напівавтоматичної роботи.

Формулювання мети та завдань роботи. Мета роботи полягає в обґрунтуванні спрощеної (і здешевленої) конструкції стаціонарної палетоформуєчої машини зі збереженням функцій автоматизованого обмотування палет без застосування додаткових електронних систем керування та з використанням одного активного приводу.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні задачі: 1) аналіз конструктивних і функціональних особливостей палетоформуєчого обладнання. Огляд технологічного процесу упакування піддонів з вантажами; 2) формування робочої гіпотези та розроблення теоретико-розрахункової схеми стаціонарного палетайзера з одним активним приводом та зі збереженням функцій напівавтоматичного обмотування палет; 3) кінематичний аналіз запропонованого палетообмотувача та обґрунтування законів руху окремих елементів (поворотного стола, рулона зі стретч-плівкою тощо); 4) обґрунтування геометричних та кінематичних параметрів палетайзера з метою забезпечення заданої технології обмотування палет; 5) проведення моделювання взаємного руху вантажу на піддоні і рулона зі стретч-плівкою у програмному продукті MathCAD та імітаційного (віртуального) експерименту в середовищі SolidWorks; 6) аналіз узгодженості результатів аналітичних та експериментальних досліджень. Узагальнення отриманих результатів.

Огляд палетуального обладнання та технологічного процесу напівавтоматичного упакування піддонів з вантажами

Процес формування та обмотування палет стретч-плівкою є одним із основних етапів автоматизації процесів групового пакування. Він дозволяє забезпечити стійкість (стабільність) і безпеку штабелювання товару при транспортуванні і зберіганні, захистити товар від зовнішніх пошкоджень, забезпечити герметичність і запобігти потраплянню вологи тощо [4–6].

За ступенем автоматизації палетообмотувальні машини поділяються на ручні, напівавтоматичні та автоматичні [10]. Як правило, основними вузлами напівавтоматичних машин (рис. 1, а) є: 1) поворотний стіл; 2) колона для переміщення у вертикальному напрямі каретки з рулоном стретч-плівки із можливістю установки пневматичного притиску; 3) каретка, що забезпечує попереднє розтягування стретч-плівки. Автоматичні машини (рис. 1, б) зазвичай додатково комплектуються пристроями для закріплення і обрізання плівки після закінчення обмотки; зважувальними пристроями; поворотними столами з Е-подібним вирізом для вил візків та іншим додатковим устаткуванням. Продуктивність напівавтоматичних машин становить 15–20 палет за годину без урахування часу на завантаження і розвантаження палети. Автомати для пакування палет мають вищу продуктивність – до 40–60, а деякі високошвидкісні моделі – до 100 палет за годину [7–10].



Рис. 1. Напівавтоматична (а) та автоматична (б) палетообмотувальні машини

Основним пакувальним матеріалом, який застосовується в процесі палетування є стретч-плівка. Використання стретч-плівки дозволяє захистити товар від бруду і пилу, в кілька разів збільшує швидкість завантаження і розвантаження продукції, суттєво знижує втрати при транспортуванні товару [5; 6]. Стретч-плівка для ручного пакування поставляється, як правило, в рулонах шириною від 200 до 500 мм, з довжиною

намотування 270–300 м. Зазвичай така плівка має товщину 17 мкм. Довжина намотування стретч-плівки для машинного пакування сягає 1500 м, а сама плівка має товщину 23 мкм [5; 6].

Загальна схема, що ілюструє технологічний процес напівавтоматичного упакування піддона з вантажем, представлена на рис 2, а [4–10]. Цей процес можна умовно розділити на сім етапів. На першому етапі відбувається установка палети з вантажем на палетообмотувач (рис. 2, б). Оператор встановлює піддон за допомогою навантажувача або талі. Для зручності роботи оператора приймальний стіл палетообмотувача заглиблюють під рівень підлоги, або комплектують спеціальним заїзним пандусом. На другому етапі технологічного процесу (рис. 2, в) відбувається опускання притиску для фіксування піддону. Далі проводиться кріплення кінця стретч плівки до піддону (рис. 2, г). Цей процес оператор виконує вручну. Далі безпосередньо здійснюється упакування вантажу (рис. 2, д).

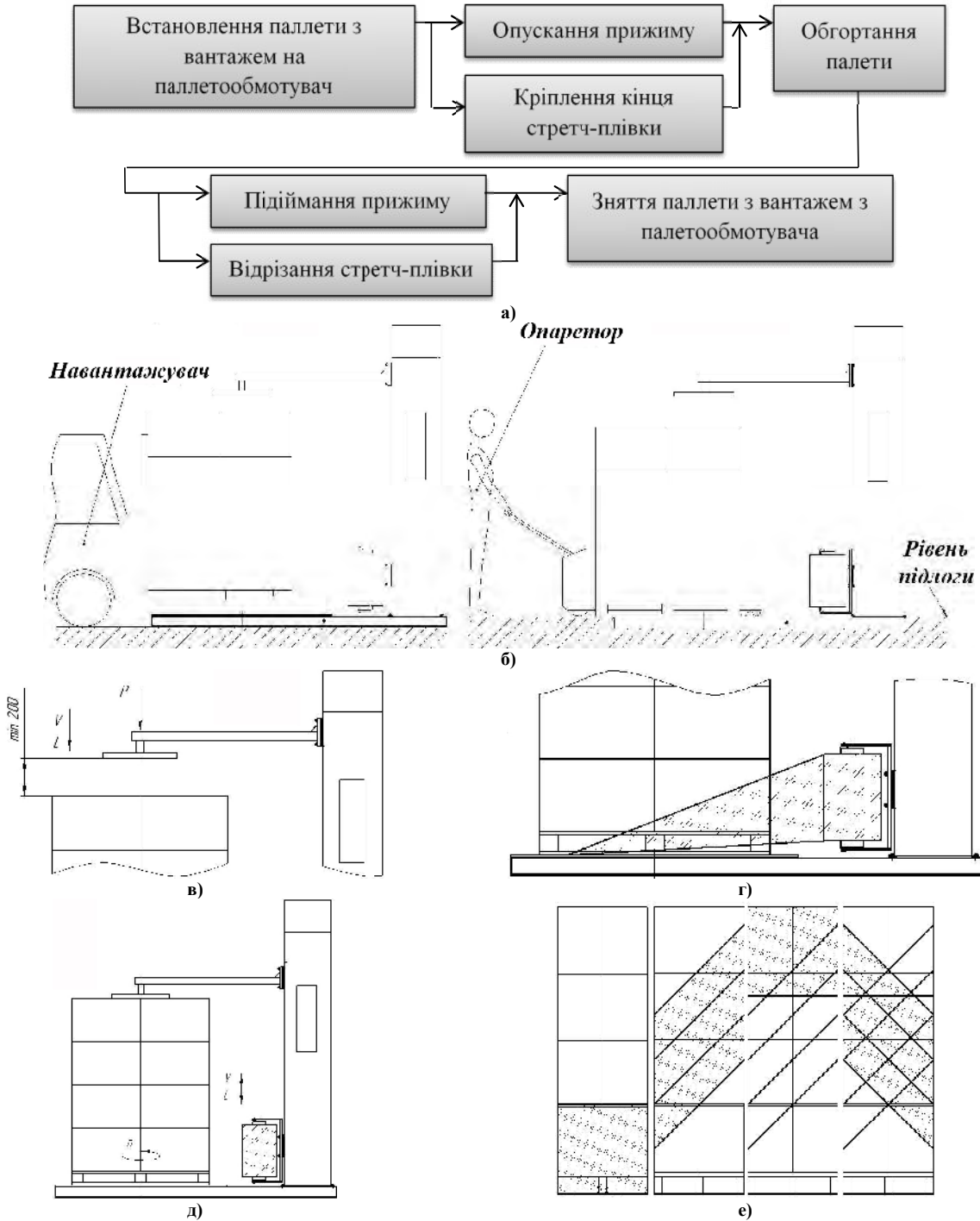


Рис. 2. Загальна схема та етапи технологічного процесу упакування піддонів з вантажами

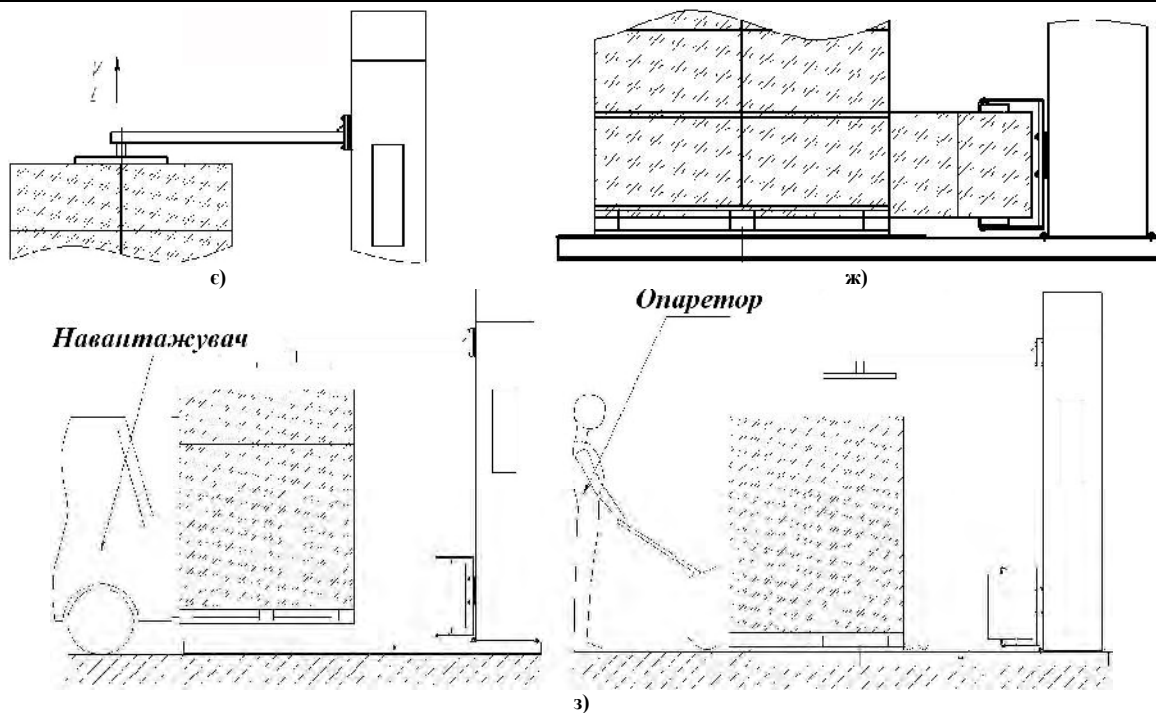


Рис. 2. Загальна схема та етапи технологічного процесу упакування піддонів з вантажами (продовження)

Упакування вантажу здійснюється у чотири стадії [5–10] (рис. 2, е). На першій стадії забезпечується зміцнення низу палети з вантажем. На другій стадії відбувається упакування по всій висоті вантажу з перекриттям 30–50% від ширини палетуєючої плівки в процесі руху рулону вгору. Третя стадія полягає в зміцненні верху піддону. На заключному четвертому етапі здійснюється упакування по всій висоті вантажу з перекриттям 30–50% від ширини палетуєючої плівки в процесі руху рулону вниз.

Після упакування піддона з вантажем відбувається піднімання прижиму (рис. 2, е) та здійснюється ручне відрізування стретч-плівки оператором (рис. 2, ж). Далі проводиться зняття упакованого вантажу з палетообмотувача за допомогою навантажувача або талі (рис. 2, з).

В окремих випадках притискний механізм для фіксування палети з вантажем не використовується. Зокрема це стосується великогабаритних та важких вантажів, які не потребують додаткової фіксації [4; 10].

Обґрунтування робочої гіпотези

Основна ідея компоувального рішення палетообмотувача подана на рис. 3. У запропонованому варіанті машини не передбачено використання двох активних приводів та складної системи керування їх взаємним рухом. Натомість вирішено використати вертикальну ланцюгову передачу 6 для забезпечення руху каретки з рулоном стретч-плівки. Приведення в рух даної ланцюгової передачі здійснюється від електродвигуна 3, що одночасно слугує приводом поворотного стола 1, на якому розміщується піддон з вантажем. Для забезпечення синхронного руху поворотного стола 1 та вертикального ланцюга 6 (каретки з рулоном стретч-плівки) запропоновано використовувати спеціальний привід, що містить конічну зубчасту 2 та дві ланцюгові 4, 5 передачі (рис. 3).

Забезпечення розглянутого вище технологічного процесу упакування вантажів на піддонах (окрім етапів фіксування і розфіксування палети за допомогою зажиму) здійснюватиметься наступним чином. У початковому положенні «ножничний» механізм кріплення каретки з рулоном стретч-плівки знаходиться з іншого боку від опорної колони палетообмотувача по відношенню до піддона з вантажем. При цьому, механізм лише починає огинати привідну зірочку вертикальної ланцюгової передачі. Оператор кріпить кінець стретч-плівки до піддону і запускає машину. За час проходження механізму кріплення каретки від крайнього правого положення на привідній зірочці до крайнього лівого, робочий стіл повинен здійснити 4 повних оберти з метою зміцнення низу палети з вантажем за допомогою стретч-плівки. Далі здійснюватиметься упакування вантажу по всій його висоті з перекриттям 50–80% від ширини палетуєючої плівки в процесі руху каретки з рулоном вгору. Після досягнення «ножничним» механізмом верхньої зірочки ланцюгової передачі здійснюватиметься зміцнення верху піддону: за час проходження механізму від крайнього лівого положення на веденій зірочці до крайнього правого, робочий стіл повинен здійснити 4 повних оберти. На заключному етапі палетування каретка рухатиметься вниз уздовж ланцюгової передачі, здійснюючи упакування вантажу по всій його висоті з перекриттям 30–50% від ширини палетуєючої плівки. Після досягнення кареткою крайнього правого нижнього положення вона натисне на кінцевий вимикач, який зупинить систему. Після цього оператор зможе відрізати пакувальну плівку та відвантажити піддон.

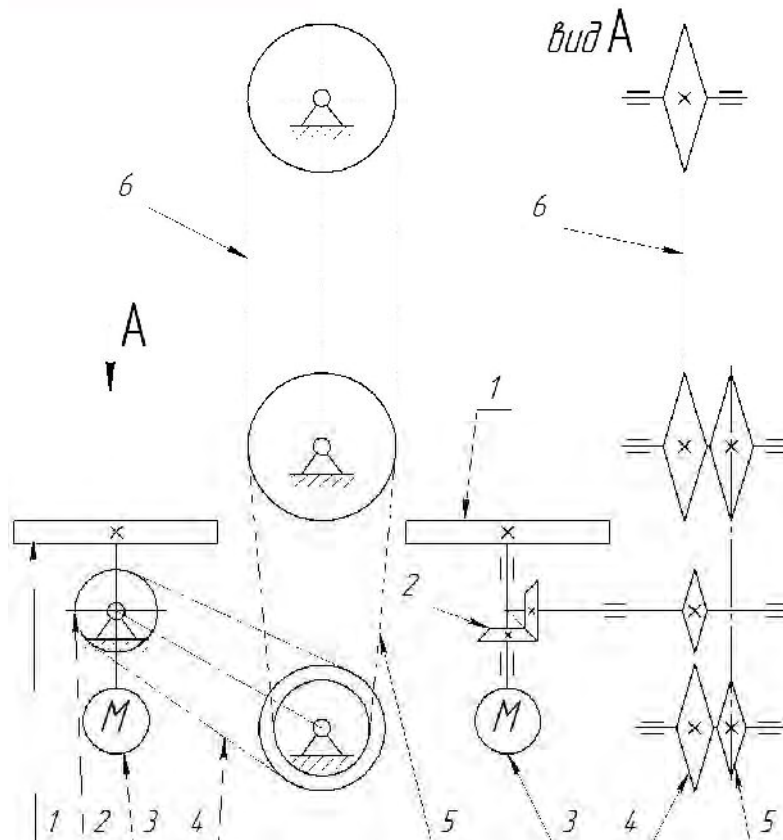


Рис. 3. Запропонована компоновальна схема стаціонарного палетообмотувача з одним активним приводом: 1 – поворотний стіл; 2 – кінцева зубчаста передача; 3 – електродвигун; 4, 5, 6 – ланцюгові передачі

Огляд конструктивних особливостей удосконаленого палетообмотувача

Запропонована вище ідея структури палетообмотувача з одним активним приводом, який міг би повністю забезпечити заданий технологічний процес обмотування вантажів на піддонах, була реалізована у вигляді твердотільної моделі за допомогою програмного продукту SolidWorks (рис. 4).

Поворотний стіл 1, на якому розміщуються палети з вантажами, встановлюється на проміжній рамі 7 і приводиться в рух від мотор-редуктора 3. Проміжна рама 7 через опори 8 монтується на несучій основі 9, яка, в свою чергу, встановлюється на опорній поверхні через регульовані опори 10. На вихідному валу мотор-редуктора також монтується привідна шестірня кінцевої передачі 10, яка через три ланцюгових передачі 4, 5, 6 приводить у рух каретку 12 з рулоном пакувального матеріалу 13. Зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 монтуються на стояку 11. До однієї з ланок ланцюга 6 шарнірно приєднується каретка-рулонотримач 12.

Запропонована конструкція палетообмотувача працює наступним чином. Перед початком запуску машини оператор фіксує кінець пакувального матеріалу (стретч-плівки) у нижній частині піддона. Після увімкнення оператором живлення на електродвигуні 3, каретка 12 з рулоном стретч-плівки 13 починає рухатися, огинаючи нижню зірочку вертикальної ланцюгової передачі 6. На протязі цього часу поворотний стіл 1 повинен здійснити чотири повних оберти з метою фіксації нижньої частини палети. Далі, в процесі руху каретки 12 вгору здійснюватиметься упакування вантажу по всій його висоті з перекриттям 50–80% від ширини палетуєної плівки. За час огинання кареткою 12 верхньої зірочки ланцюгової передачі 6 здійснюватиметься зміцнення верхньої частини палети, тобто робочий стіл знову встигне зробити 4 повних оберти. Після цього каретка 12 рухатиметься вниз, здійснюючи упакування вантажу по всій його висоті з перекриттям 50–80% від ширини палетуєної плівки. Після досягнення кареткою 12 крайнього правого нижнього положення вона натисне на кінцевий вимикач, який зупинить систему. Після цього оператор зможе відрізати пакувальну плівку та відвантажити піддон.

Аналізуючи особливості функціонування запропонованого палетообмотувача, можемо зробити висновки щодо подальших завдань, які необхідно розв'язати в процесі досліджень. По-перше, необхідно обґрунтувати кінематичні характеристики приводу з метою забезпечення синхронності руху поворотного стола 1 та каретки 12 з рулоном пакувального матеріалу 13. Далі необхідно встановити геометричні параметри окремих елементів приводу (зірочок ланцюгових передачі, зубчастих коліс кінцевої передачі тощо). Після цього необхідно вивести рівняння траєкторії і швидкості руху каретки з пакувальним матеріалом в процесі упакування палети з вантажем та обґрунтувати витрати стретч-плівки для різних типорозмірів палет. На завершальному етапі необхідно провести моделювання взаємного руху вантажу на піддоні і рулону зі стретч-плівкою у програмному продукті MathCAD [19] та імітаційний (віртуальний) експеримент в середовищі SolidWorks [20], а також проаналізувати результати теоретичних та

експериментальних досліджень.

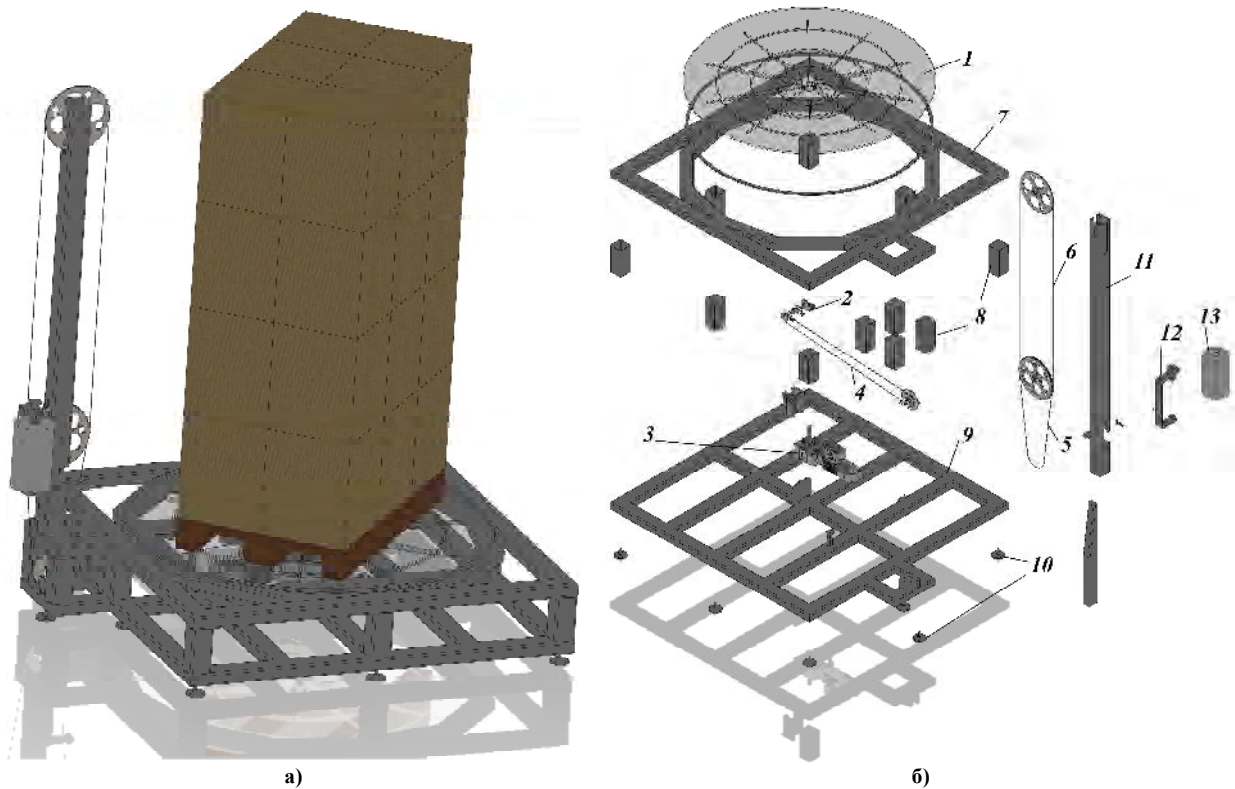


Рис. 4. Загальний вигляд запропонованого палетообмотувача (а – в зборі; б – в рознесеному вигляді)

Аналіз кінематики та встановлення геометричних параметрів приводу палетообмотувача

Кінематична схема приводу палетообмотувача подана на рис. 5. Передавальне відношення вертикальної ланцюгової передачі 6, до якої кріпиться каретка з рулоном пакувального матеріалу (стретч-плівки) повинно дорівнювати одиниці, оскільки згідно з розглянутим вище технологічним процесом упакування вантажів на піддонах тривалість процесу зміцнення низу палети дорівнює тривалості процесу зміцнення верху палети, тобто:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1} = 1, \tag{1}$$

де $\omega_1, \omega_2, r_1, r_2, z_1, z_2$ – кутові швидкості, ділильні радіуси та кількості зубців відповідних зірочок ланцюгової передачі (рис. 5).

У відповідності до зазначених вище стадій технологічного процесу упакування палети, на першій стадії за період переміщення каретки з рулоном стретч-плівки уздовж крайньої нижньої ділянки (тобто в процесі огинання нижньої зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 поворотний стіл 1 з навантаженою палетою повинен здійснити 4 повних оберти. Звідси можемо зробити висновок, що півоберта ведучої зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 приблизно дорівнюватиме чотирьом обертам поворотного стола 1, а отже загальне передавальне відношення передачі від ведучого валу ланцюгової передачі 6 до вала електродвигуна 3 (і поворотного стола 1) становитиме:

$$4 \times \omega_2 = 4 \times \omega_3 = 0.5 \times \omega_8 \Rightarrow \omega_2 = \omega_3 = \frac{1}{8} \times \omega_8; \tag{2}$$

$$u_{28} = u_{38} = u_{34} \times u_{56} \times u_{78} = \frac{\omega_2}{\omega_8} = \frac{1}{8},$$

де $\omega_3 = \omega_2$ – кутова швидкість привідного вала вертикальної ланцюгової передачі 6; ω_8 – кутова швидкість вала електродвигуна 3 (рис. 5); u_{34}, u_{56}, u_{78} – передавальні відношення ланцюгових передач 5, 4 та кінчної зубчастої передачі 2, відповідно.

Зміцнивши низ палети, стретч-плівка повинна рухатися вгору та обмотувати вантаж по всій його висоті з перекриттям 30–50% від ширини палетуєчого матеріалу. Тобто відношення лінійного переміщення вертикальної ланцюгової передачі 6 до кута повороту вала електродвигуна 3 (а отже й відношення лінійної швидкості вертикальної ланцюгової передачі 6 до кутової швидкості вала електродвигуна 3) повинне бути рівним:

$$\frac{S_6}{\varphi_8} = \frac{(0.3 \dots 0.5 \times h)}{2 \times \pi} \Rightarrow S_6 = \frac{(0.3 \dots 0.5 \times h)}{2 \times \pi} \times \varphi_8; \tag{3}$$

$$V_6 = \frac{(0.3 \dots 0.5 \times h)}{2 \times \pi} \times \omega_8,$$

де φ_8 – кут повороту вала електродвигуна; h – ширина стретч-плівки.

З іншого боку лінійні переміщення та швидкість ланцюга 6 можуть бути визначені за формулами [18]:

$$S_6 = r_2 \times \varphi_2; \quad V_6 = r_2 \times \omega_2. \quad (4)$$

Прирівнюючи вирази для швидкостей із рівнянь (3) і (4) та враховуючи передавальне відношення передачі, визначене за формулою (2), матимемо:

$$\frac{(0.3 \dots 0.5 \times h)}{2 \times \pi} \times \omega_8 = r_2 \times \omega_2 \Rightarrow \frac{(0.3 \dots 0.5 \times h)}{2 \times \pi} \times \omega_8 = r_2 \times \frac{1}{8} \times \omega_8 \Rightarrow r_2 = \frac{4 \times (0.3 \dots 0.5 \times h)}{\pi} = \frac{1,2 \dots 2 \times h}{\pi}. \quad (5)$$

Таким чином, формула (5) дозволяє наближено визначити дільний радіус ведучої зірочки вертикальної ланцюгової передачі у залежності від необхідного коефіцієнту перекриття плівкою вантажу в процесі руху каретки з рулоном плівки шириною h від нижнього до верхнього положення або навпаки (тобто на другій та четвертій стадіях палетування).

Встановимо геометричні параметри приводу палетообмотувача для ширини стрічки $h = 300$ і і . У відповідності з формулою (5), задаючи коефіцієнт перекриття плівки 0,4, можемо визначити необхідний радіус ведучої зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 (рис. 5):

$$r_2 \approx \frac{4 \times (0.4 \times h)}{\pi} = \frac{4 \times (0.4 \times 300)}{\pi} = 152,9 \text{ і і } . \quad (6)$$

Радіус веденої зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 буде аналогічним – $r_1 = r_2 \approx 152,9$ і і , оскільки процеси зміцнення верху і низу палети з вантажем за тривалістю повинні бути однакові (тобто становити приблизно 4 оберти поворотного стола за час проходження кареткою відповідної зірочки ланцюгової передачі). Решту геометричних параметрів приводу палетообмотувача задаються конструктивно (табл. 1), беручи до уваги необхідність забезпечення конкретного передавального відношення $u_{28} = \frac{1}{8}$ (формула 2).

Таблиця 1

Геометричні параметри приводу розробленого палетайзера

$z_1 = z_2 = z_3$	z_4	z_5	z_6	$z_7 = z_8$	$r_1 = r_2 = r_3, \text{ і і }$	$r_4, \text{ і і }$	$r_5, \text{ і і }$	$r_6, \text{ і і }$	$r_7 = r_8, \text{ і і }$
101	30	50	21	22	153,17	45,56	75,85	31,95	36,18

Остаточне передавальне відношення приводу палетообмотувача становитиме:

$$u_{28} = u_{38} = u_{34} \times u_{56} \times u_{78} = \frac{z_4}{z_3} \times \frac{z_6}{z_5} \times \frac{z_8}{z_7} = \frac{30}{101} \times \frac{21}{50} \times \frac{22}{22} \approx \frac{1}{8,02} \approx \frac{1}{8}. \quad (7)$$

Обґрунтування траєкторії, швидкості руху та витрат пакувального матеріалу в процесі обмотування вантажу на піддоні

На рис. 6 представлено спрощену розрахункову схему процесу упакування вантажу на піддоні. У відповідності з нею, технологічний процес розпочинається із позиції , коли каретка знаходиться на привідній зірочці з протилежної сторони відносно палети. При цьому стретч-плівка фіксується оператором до дна палети. Далі вмикається привід палетообмотувача (мотор-редуктор 3, який приводить у рух поворотний стіл 1 та через конічну зубчасту 2 та ланцюгові 4, 5 передачі ланцюгову передачі 6). В процесі проходження кареткою нижньої зірочки відбувається зміцнення низу палети.

Далі, досягнувши позиції , каретка починає рухатися вгору вздовж прямолінійної вітки вертикальної ланцюгової передачі 6, обмотуючи вантаж по всій його висоті з певним коефіцієнтом перекриття. На ділянці відбувається огинання кареткою веденої зірочки ланцюгової передачі 6 та зміцнення верхньої частини палети. Після цього, каретка починає рухатися вниз уздовж прямолінійної вітки ланцюгової передачі 6 (ділянка **IV**), обмотуючи вантаж по всій його висоті з певним коефіцієнтом перекриття. Після досягнення кареткою позиції , відбувається автоматична зупинка системи з допомогою кінцевого вимикача.

Враховуючи формули (2)–(7), запишемо залежності вертикального та горизонтального положення центру каретки (шарніру її кріплення x , y) відносно осі ведучої зірочки ланцюгової передачі 6 від кута φ повороту привідного вала електродвигуна 3, вважаючи, що при $\varphi = 0$: $x = r_2 + d$, $y = 0$, де d – найкоротша відстань від ланцюга 6 до шарніру кріплення каретки (висота опорно-напрямого механізму каретки) (рис. 6):

$$\begin{cases}
 x = \begin{cases} (r_2 + d) \times \cos\left(\frac{\varphi}{8}\right), & 0 \leq \varphi \leq 8\pi; \\
 -(r_2 + d), & 8\pi \leq \varphi \leq 8 \times \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right); \\
 -(r_2 + d) \times \cos\frac{\varphi - 8 \times \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right)}{8}, & 8 \times \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right) \leq \varphi \leq 8 \times \left(2 \times \pi + \frac{H}{r_2}\right); \\
 (r_2 + d), & 8 \times \left(2 \times \pi + \frac{H}{r_2}\right) \leq \varphi \leq 16 \times \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right); \end{cases} \\
 y = \begin{cases} (r_2 + d) \times \sin\left(\frac{\varphi}{8}\right), & 0 \leq \varphi \leq 8\pi; \\
 r_2 \times \left(\frac{\varphi - 8\pi}{8}\right), & 8\pi \leq \varphi \leq 8 \times \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right); \\
 H + (r_2 + d) \times \sin\frac{\varphi - 8 \times \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right)}{8}, & 8 \times \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right) \leq \varphi \leq 8 \times \left(2 \times \pi + \frac{H}{r_2}\right); \\
 H - r_2 \times \frac{\varphi - 8 \times \left(2 \times \pi + \frac{H}{r_2}\right)}{8}, & 8 \times \left(2 \times \pi + \frac{H}{r_2}\right) \leq \varphi \leq 16 \times \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right); \end{cases}
 \end{cases} \quad (8)$$

де y_6 – міжосьова відстань вертикальної ланцюгової передачі 6 (рис. 5).

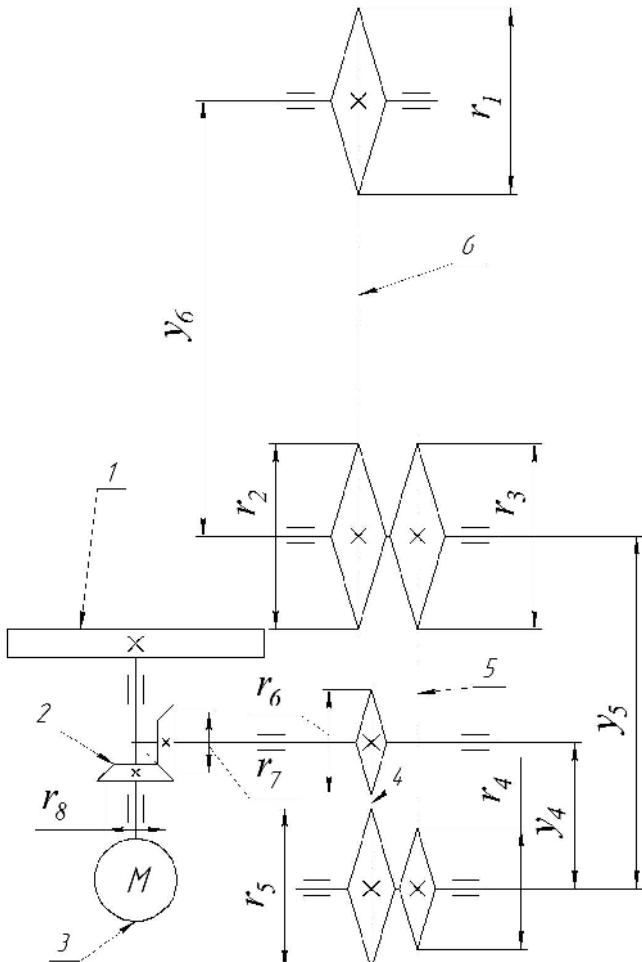


Рис. 5. Кінематична схема приводу запропонованого палетообмотувача

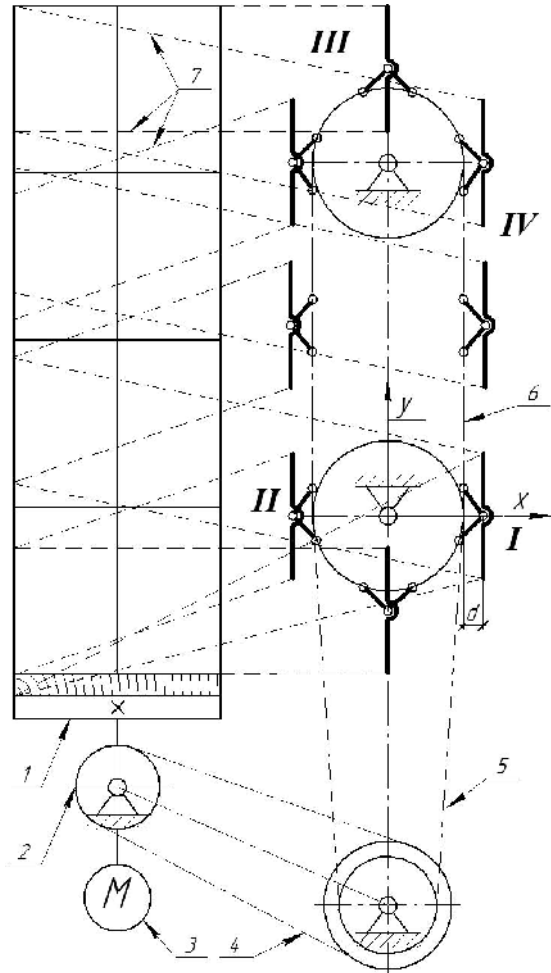


Рис. 6. Розрахункова схема процесу обмотування палети

Задаючи геометричні параметри запропонованого механізму переміщення каретки з рулоном стретч-плівки (рис. 7): $r_2 \approx 153,17$ і і , $d \approx 18,85$ і і , $H \approx 1501,28$ і і , з використанням рівнянь (8) на рис. 8 побудовано траєкторію руху центру (опорного шарніру) каретки з рулоном стретч-плівки, а на рис. 9 – графічні залежності координат і швидкостей руху опорного шарніру від кута повороту привідного вала електродвигуна.

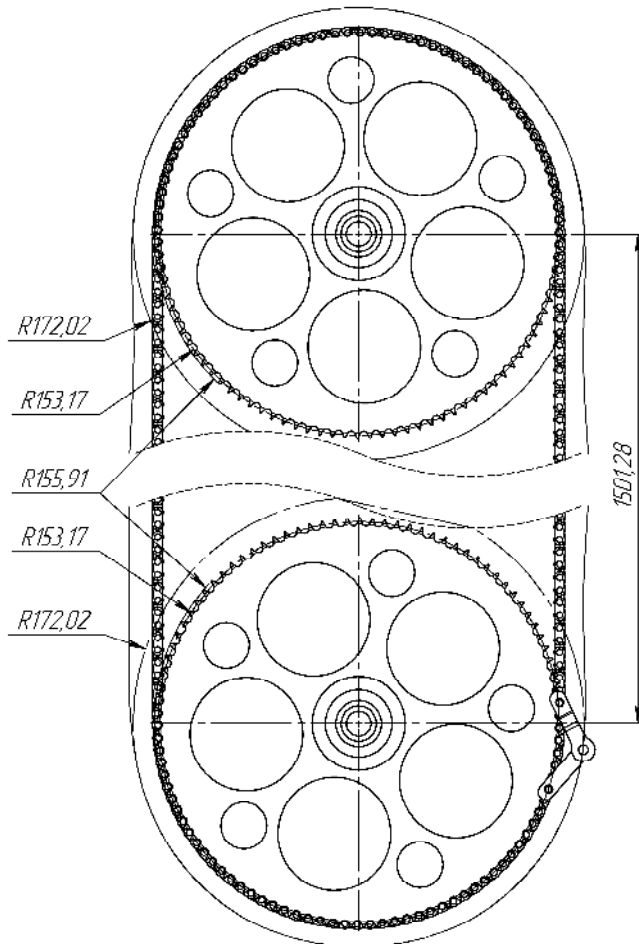


Рис. 7. Геометричні параметри запропонованого механізму переміщення каретки з рулоном пакувального матеріалу

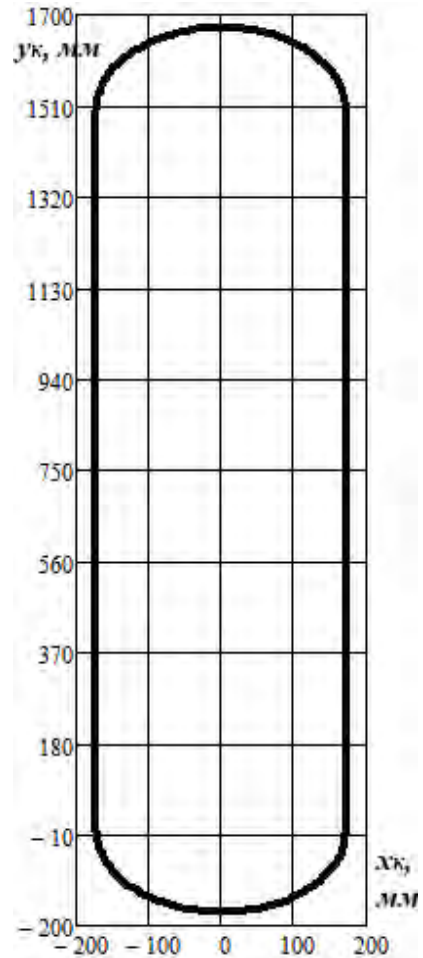


Рис. 8. Теоретична траєкторія руху центру (опорного шарніру) каретки з рулоном стретч-плівки

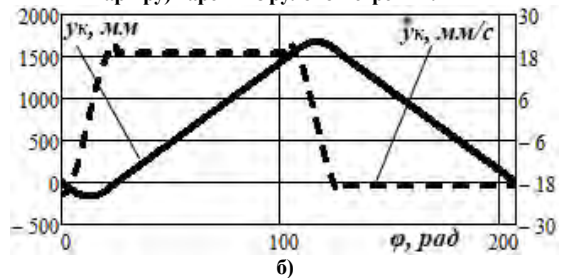
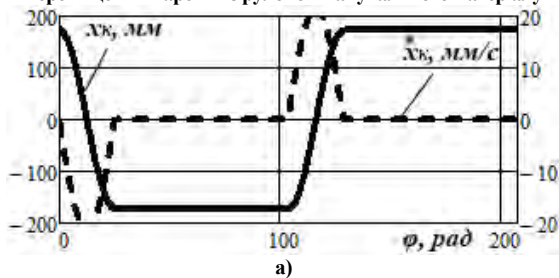


Рис. 9. Графічні залежності координат і швидкостей руху опорного шарніру від кута повороту приводного вала електродвигуна

За отриманими залежностями (8) та на основі рис. 8-9, можемо встановити загальну кількість обертів, яку здійснює вантаж за весь цикл технологічного процесу обмотування палети:

$$N = \frac{\varphi_{\max}}{2\pi} = \frac{16 \times \left(\pi + \frac{1}{r_2} \right)}{2\pi} = \frac{8 \times \left(\pi + \frac{1}{r_2} \right)}{\pi} \quad (9)$$

Зокрема, для розглянутого вище механізму, матимемо:

$$N = \frac{8 \times \left(\pi + \frac{1}{r_2} \right)}{\pi} = \frac{8 \times \left(\pi + \frac{1501,28}{153,17} \right)}{\pi} = 32,959 \approx 33 \quad (10)$$

Знаючи периметр вантажу на палеті та умовно вважаючи пакувальний матеріал нерозтяжним, можемо наближено встановити його витрату для упакування однієї палети:

$$W \approx P \times N = 2 \times (a + b) \times \frac{8 \times \left(\pi + \frac{1}{r_2} \right)}{\pi}, \quad (11)$$

де a, b – відповідно, ширина і довжина вантажу на палеті.

Зокрема, для європалети розміром 800×1200 мм та висотою обмотуваного вантажу 1800 мм, за

коефіцієнта перекриття 0,4 та ширини плівки $h = 300$ і і необхідна довжина пакувального матеріалу становить:

$$W = 2 \times (a + b) \times \frac{8 \times \left(\pi + \frac{f}{r_2} \right)}{\pi} = 2 \times (800 + 1200) \times \frac{8 \times \left(\pi + \frac{1501,28}{153,17} \right)}{\pi} \approx 132 \text{ м} \quad (12)$$

Діаграма зміни необхідної довжини пакувального матеріалу залежно від геометричних параметрів палети зображена на рис. 10.

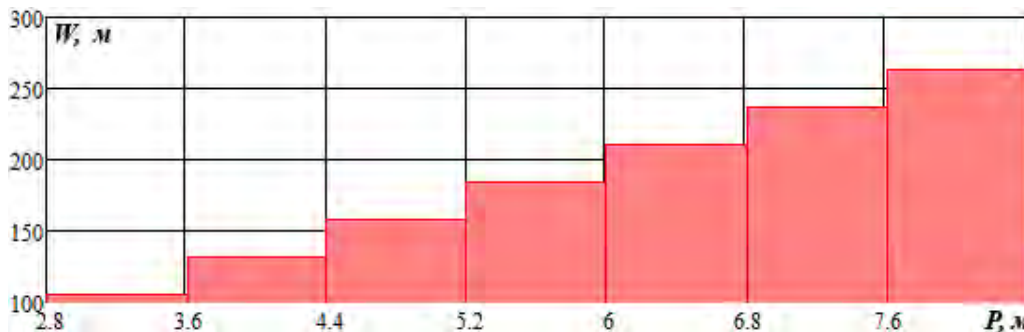


Рис. 10. Гістограма зміни необхідної довжини W пакувального матеріалу в залежності від периметру вантажу на палеті P

Імітаційне моделювання руху та визначення витрат пакувального матеріалу в програмному продукті SolidWorks

З метою підтвердження теоретичних положень, викладених вище, за допомогою програмного продукту SolidWorks [20] була розроблена імітаційна модель руху пакувального матеріалу в процесі обмотування вантажу на піддоні (рис. 11). Робочий стіл 4 приводився в рух мотор-редуктора 5 та через механічний привід (конічну і дві ланцюгових передачі) 3 забезпечував переміщення каретки 2 з пакувальним матеріалом вздовж вертикальної ланцюгової передачі 1. В якості базової точки для проведення моделювання було обрано точку на середині рулону стретч-плівки.

Віртуальний експеримент полягав в імітаційному моделюванні одного циклу технологічного процесу обмотування палети. Тобто на початку моделювання пакувальний матеріал був довільно зафіксований в крайній нижній точці палети, а каретка була розміщена на привідній зірочці вертикальної ланцюгової передачі з протилежної сторони відносно палети. Далі моделювався рух поворотного стола з кутовою швидкістю, у 8 разів більшою ніж кутова швидкість вертикальної ланцюгової передачі.

Таким чином, на основі імітаційного моделювання руху пакувального матеріалу вдалося побудувати його траєкторію 6 (рис. 11) та визначити витрату стретч-плівки без урахування можливості її розтягування. Зокрема, для європалети розміром 800×1200 мм та висотою обмотуваного вантажу 1800 мм, за коефіцієнта перекриття 0,4 та ширини плівки $h = 300$ і і необхідна довжина пакувального матеріалу становить 142,15 м. Траєкторія руху плівки повністю відтворює технологічний процес палетування: 1) зміцнення низу палети 4 обертами пакувального матеріалу (червона лінія у нижній частині траєкторії); 2) обмотування по висоті вантажу з коефіцієнтом перекриття 0,4 при русі каретки вгору (червона лінія у середній частині траєкторії); 3) зміцнення верху палети 4 обертами пакувального матеріалу (червона і сіра лінії у верхній частині траєкторії); 4) обмотування вантажу по всій його висоті з коефіцієнтом перекриття 0,4 при русі каретки вниз (сіра лінія у середній частині траєкторії).

Висновки

У статті проведено огляд сучасного палетоформуального обладнання та проаналізовано технологічний процес напівавтоматичного упакування вантажів на піддонах. Зокрема, детально розглянуто сім етапів даного процесу: 1) встановлення палети з вантажем на палетообмотувач; 2) опускання притискного пристрою; 3) кріплення кінця стретч-плівки; 4) обгортання палети; 5) підймання притискного пристрою; 6) відрізання стретч-плівки; 7) зняття палети з вантажем із палетообмотувача.

Обґрунтовано робочу гіпотезу та запропоновано компонувальне рішення стаціонарного палетообмотувача з одним активним приводом. Розглянуто можливості забезпечення заданого технологічного процесу упакування вантажів на піддонах за допомогою запропонованої установки.

Обґрунтовано конструктивні особливості удосконаленого палетообмотувача з одним активним приводом, який міг би повністю забезпечити заданий технологічний процес обмотування вантажів на піддонах. У програмному продукті SolidWorks реалізована твердотільна модель запропонованого палетайзера та розглянуто особливості його функціонування.

Проведено аналіз кінематики приводу палетообмотувача та обґрунтовано передавальні відношення відповідних передач, а також радіуси відповідних коліс і зірочок. Побудовано траєкторію руху каретки з рулоном пакувального матеріалу, встановлено залежності швидкості руху рулону та аналітично виведено формулу для визначення витрат плівки в процесі обмотування вантажів на піддонах різних розмірів.

У програмному продукті SolidWorks проведено імітаційне моделювання руху плівки в процесі

обмотування вантажу на палеті, побудовано відповідну траєкторію руху плівки та встановлено її необхідну довжину. За результатами віртуального експерименту зроблено висновок про задовільну збіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень (похибка знаходиться у межах 10%).

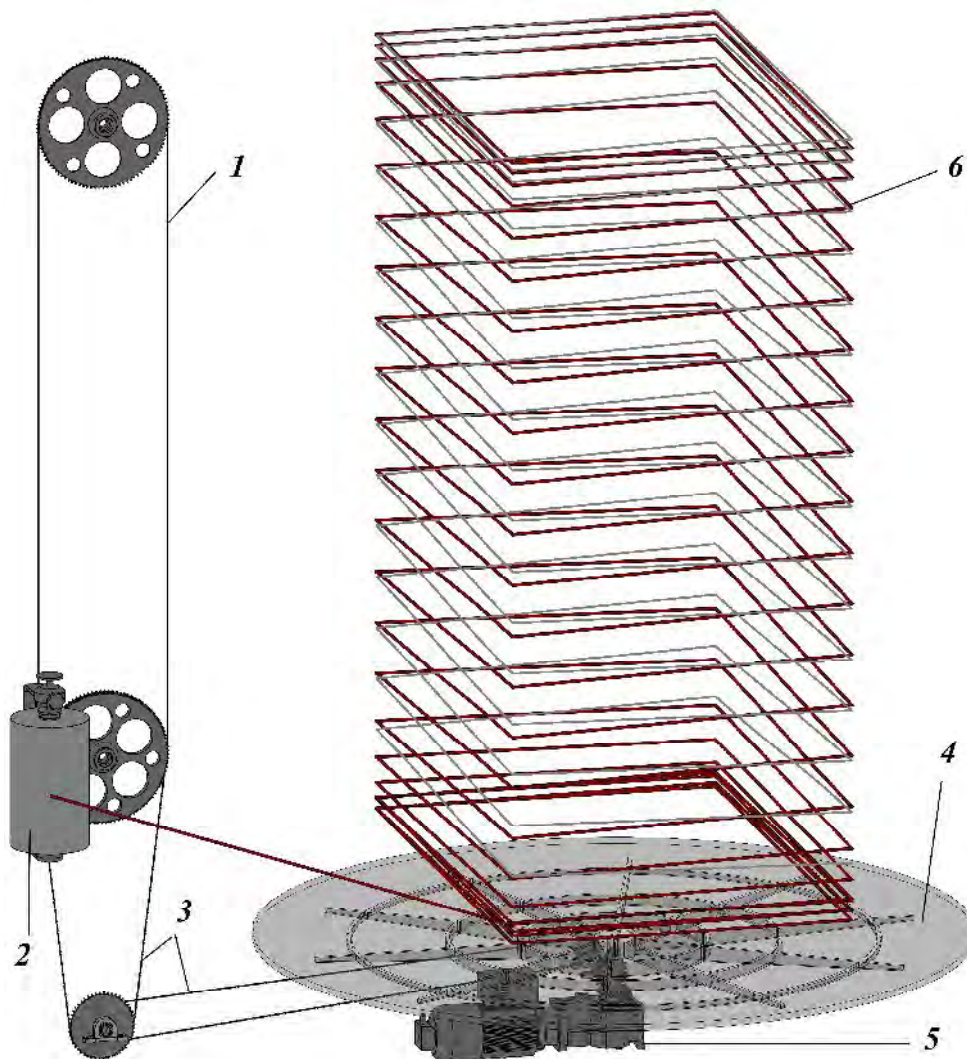


Рис. 11. Імітаційна модель руху пакувального матеріалу, реалізована в програмному продукті SolidWorks

Література

1. Валецький Б. П. Особливості процесу автоматизованого групового пакування / Б. П. Валецький // Технологічні комплекси. – 2010. – № 1. – С. 87–93.
2. Валецький Б. П. Упаковка великогабаритних вантажів / Б. П. Валецький // Наукові нотатки. – 2013. – № 41. – С. 17–22.
3. Беспалько А. П. Обладнання для скріплення транспортних пакетів (стан, перспективи, тенденції розвитку) / А. П. Беспалько, О. М. Гавва, С. В. Токарчук // Упаковка. – 2010. – № 2. – С. 54–58.
4. Шипинский В. Г. Упаковка и средства пакетирования / В. Г. Шипинский. – Минск : УП "Технопринт", 2004. – 416 с.
5. Угрин Я. М. Основи пакувальної справи. Полімерна тара / Я. М. Угрин, Ю. Й. Хведчин, І. І. Регей. – Львів : Українська академія друкарства, 2011. – 142 с.
6. Осика В. А. Пакувальні матеріали і тара / В. А. Осика. – К. : Київський національний торговельно-економічний університет, 2006. – 372 с.
7. Гавва О. М. Пакувальне обладнання в 3 кн. Кн. 1. Обладнання для пакування продукції в споживчу тару / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко. – К. : «Упаковка», 2008. – 436 с.
8. Гавва О. М. Пакувальне обладнання в 3 кн. Кн. 2. Обладнання для групового пакування / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко. – К. : «Упаковка», 2007. – 136 с.
9. Гавва О. М. Пакувальне обладнання в 3 кн. Кн. 3. Обладнання для обробки транспортних пакетів / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко. – К. : «Упаковка», 2006. – 96 с.
10. Пакувальне обладнання / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. – К. : ІАЦ «Упаковка», 2010. – 744 с.
11. Моделювання процесів пакування / А. І. Соколенко, В. Л. Яровий, В. А. Піддубний,

- К. В. Васильківський, О. Ю. Шевченко ; за ред. Соколенка А. І. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 272 с.
12. Wood R. Trends in large pallet wrapping in France // *Plast Rubbers Text.* – 1971. – Vol. 2, Issue 2. – pp. 54–55.
 13. Johnson F. M., Langford A. J. Development and future potential of stretchwrapping // *Plastics and rubber international.* – 1982. – Vol. 7, Issue 6. – pp. 217–220.
 14. Thysen A. The pros and cons of various pallet wrapping methods // *ZKG International.* – 2003. – Vol. 56, Issue 11. – pp. 35–40.
 15. Kristiansen U. S. Tips for choosing a pallet-wrapping method // *Powder and Bulk Engineering.* – 2003. – Vol. 17, Issue 5. – pp. 37–43.
 16. Lingle R. See's watches pallet wrapping productivity jump // *Packaging Digest.* – 1999. – Vol. 36, Issue 5. – pp. 44–46.
 17. Popa C. L. et al. Modelling, Simulation and Optimization of a Packaging and Palletizing System // *Applied Mechanics and Materials.* – 2015. – Vol. 760. – pp. 205–211.
 18. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – К. : Наукова думка, 2002. – 656 с.
 19. Алгоритмізація, програмування, числові та символічні обчислення в пакеті MathCAD / Я. С. Паранчук, А. В. Малиар, Р. Я. Паранчук, І. Р. Головач. – Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 164 с.
 20. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М. : ДМК-Пресс, 2010. – 464 с.

References

1. Valetskiy B. P. Osoblyvosti protsesu avtomatyzovanoho hrupovoho pakuvannia / B. P. Valetskiy // *Tekhnolohichni komplekсы.* – 2010. – № 1. – pp. 87-93.
2. Valetskiy B. P. Upakovka velykohabarytnykh vantazhiv / B. P. Valetskiy // *Naukovi notatky.* – 2013. – № 41. – pp. 17-22.
3. Bepalko A. P. Obladnannia dlia skriplennia transportnykh paketiv (stan, perspektvyvy, tendentsii rozvytku) / A. P. Bepalko, O.M. Havva, C. B. Tokarchuk // *Upakovka.* – 2010. – № 2. – pp. 54-58.
4. Shipinskij V. G. Upakovka i sredstva paketirovanija / V. G. Shipinskij. – Minsk: UP "Tehnoprnt", 2004. – 416 p.
5. Uhryn Ya. M. Osnovy pakovalnoi spravy. Polimerna tara / Ya. M. Uhryn, Yu. Y. Khvedchyn, I. I. Rehei. – Lviv: Ukrainka akademiia drukarstva, 2011. – 142 p.
6. Osyka V. A. Pakovalni materialy i tara / V. A. Osyka. – K.: Kyivskiy natsionalnyi torhovelno-ekonomichnyi universytet, 2006. – 372 p.
7. Havva O. M. Pakovalne obladdnannia v 3 kn. Kn. 1. Obladnannia dlia pakuvannia produktsii v spozhyvchu taru / O. M. Havva, A.P. Bepalko, A. I. Volchko. – K. : «Upakovka», 2008. – 436 p.
8. Havva O.M. Pakovalne obladdnannia v 3 kn. Kn. 2. Obladnannia dlia hrupovoho pakuvannia / O. M. Havva, A. P. Bepalko, A.I. Volchko. – K. : «Upakovka», 2007. – 136 p.
9. Havva O. M. Pakovalne obladdnannia v 3 kn. Kn. 3. Obladnannia dlia obrobky transportnykh paketiv / O. M. Havva, A. P. Bepalko, A.I. Volchko. – K. : «Upakovka», 2006. – 96 p.
10. Pakovalne obladdnannia / O. M. Havva, A. P. Bepalko, A. I. Volchko, O. O. Kokhan. – K.: IATs «Upakovka», 2010. – 744 p.
11. Modeliuvannia protsesiv pakuvannia / A. I. Sokolenko, V. L. Yarovy, V. A. Piddubnyi, K. V. Vasylykivskiy, O. Yu. Shevchenko. – Za redaktsiieiu Sokolenka A. I. – Vinnytsia: Nova knyha, 2004. – 272 p.
12. Wood R. Trends in large pallet wrapping in France // *Plast Rubbers Text.* – 1971. – Vol. 2, Issue 2. – pp. 54-55.
13. Johnson F. M., Langford A. J. Development and future potential of stretchwrapping // *Plastics and rubber international.* – 1982. – Vol. 7, Issue 6. – pp. 217-220.
14. Thysen A. The pros and cons of various pallet wrapping methods // *ZKG International.* – 2003. – Vol. 56, Issue 11. – pp. 35-40.
15. Kristiansen U. S. Tips for choosing a pallet-wrapping method // *Powder and Bulk Engineering.* – 2003. – Vol. 17, Issue 5. – pp. 37-43.
16. Lingle R. See's watches pallet wrapping productivity jump // *Packaging Digest.* – 1999. – Vol. 36, Issue 5. – pp. 44-46.
17. Popa C. L. et al. Modelling, Simulation and Optimization of a Packaging and Palletizing System // *Applied Mechanics and Materials.* – 2015. – Vol. 760. – pp. 205-211.
18. Kinytskyi Ya. T. Teoriia mekhanizmiv i mashyn / Ya. T. Kinytskyi. – K.: Naukova dumka, 2002. – 656 с.
19. Alhorytmizatsiia, prohramuvannia, chyslovi ta symvolni obchyslennia v paketi MathCAD / Ya. S. Paranchuk, A. V. Maliar, R.Ya. Paranchuk, I. R. Holovach. – Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika», 2008. – 164 с.
20. Aljamovskij A. A. Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation / A. A. Aljamovskij. – M.: DMK-Press, 2010. – 464 с.

Рецензія/Peer review : 09.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 16.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією