DOI: https://doi.org/10.26565/2304-6201-2022-57-05

УДК (UDC) 681.58

Яланецький Валерій Анатолійович
старший викладач
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Берестейський проспект (Перемоги), 37, Київ-56, Україна, 03056
e-mail: v.yalanetskyi@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6163-0258

Автоматизована система проклеювання деталей паперових пакетів

Актуальність. Подарункова та сувенірна продукція подається зазвичай у паперових пакетах. Дослідження і розробка практичних рішень щодо автоматизації процесу проклеювання деталей пакетів є актуальною науковою проблемою та інженерною задачею. У статті розглядається питання новітнього програмно-технічне рішення з автоматизації нанесення клею на паперові вироби різних розмірів, здебільшого незначними партіями.
Метою роботи є висвітлення інженерних рішень, що дають змогу з мінімальними витратами для бюджету підприємства, розробити автоматизовану лінію проклеювання деталей паперових пакетів.
Методи дослідження. Досліджено об'єкт автоматизації, зокрема проведено аналіз лінійки розмірів паперової продукції та продуктивності виготовлення паперових пакетів в цехах ручного збирання. Розглянуто питання побудови автоматизованих конвеєрних ліній для виконання технологічних операцій проклеювання паперових деталей для їх подальшого збирання в пакет.
Результати. Проведено дослідження останніх наукових публікацій, що підтвердили актуальність проєктування низькобюджетних автоматизованих систем для вітчизняних виробників паперових пакетів. Наведено опис геометричних параметрів пакету та траєкторії проклеювання. Розроблено структурну схему автоматизованої системи проклеювання деталей пакета та алгоритмічне забезпечення керуючої програми контролера. Наведений список основних програмно-технічних засобів системи. Визначені області допустимих значень параметрів пакета. Наведений обрахунок залежності швидкості руху каретки модуля лінійного переміщення від часу. Представлено результат фізичного впровадження системи в цеховому приміщенні підприємства-замовника.
Висновки. Впровадження автоматизованої системи забезпечить зменшення активних працівників у виробничому цеху, які дотепер виконують ручні операції проклеювання. В найближчих планах максимально швидко інтегрувати в автоматизовану систему машину, що буде подавати набір пакетів на конвеєрне полотно. Планується вдосконалення механічної конструкції над полотном конвеєра, а саме будуть додаватись механічні пристосування задля забезпечення процесу автоматичного відкривання та закривання пакету протягом його переміщення по конвеєру..
Ключові слова: *автоматизована система, автоматизація, нанесення клею; паперові вироби, пакет.*

Як цитувати: Яланецький В. А. Автоматизована система проклеювання деталей паперових пакетів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління*. 2023. вип. 57. С.55-64. https://doi.org/10.26565/2304-6201-2023-57-05

How to quote: V.A. Yalanetskyi, "Automated system for gluing paper bag parts". *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, series Mathematical modelling. Information technology. Automated control systems*, vol. 57, pp.5-64, 2023. https://doi.org/10.26565/2304-6201-2023-57-05
[In Ukrainian]

Вступ

Виробництво будь-якої цивільної, промислової та військової продукції не можливе без технологічних ліній, автоматизованих систем керування, локальних систем збору даних та програмно-технічних засобів автоматизації. Маркетингова галузь вимагає від виробничих потужностей подарункової, рекламної та сувенірної продукції. Подарункова та сувенірна продукція подається зазвичай у певній тарі, себто коробках, кейсах, пакетах. Зважаючи на критичну екологічну проблему на Землі щодо надлишку у смітті пластикової тари, маркетологи надають перевагу паперовій тарі (пакетам). В сфері виробництва сувенірної паперової продукції ключовим компонентом збирання паперових деталей в єдиний виріб є клейовий (клеючий) матеріал (далі клей). Застосування клеїв у виробництві паперових виробів значно знижує собівартість готового продукту порівняно з іншими технологіями, і не вимагає підготовку висококваліфікованих фахівців. З часів появи технології проклеювання цей процес виконується досі вручну, де якість послуги має найвищий пріоритет аніж кількість продукції.

© Яланецький В.А., 2023
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

Протягом нанесення клею на цільові поверхні деталей паперових виробів підручними засобами (проклеювання вручну) дуже складно досягти рівномірності клеєнанесення. Автоматизація клеєнанесення виключає людський фактор з цієї технологічної операції, що, в свою чергу, забезпечує підвищення якості готової продукції. Автоматизація технологічних процесів у сфері виробництва паперових виробів достатньо давно досліджена та широко представлена готовими технічними рішеннями. Виробничий процес може складатись як зі статичного автоматичного апарату, що виконує типову технологічну операцію, так і з технологічної конвеєрної лінії. Здебільшого, технологічні лінії конструктивно та фізично мають у складі спеціалізовані машини-автомати, станки, які розроблені суто на один тип технологічної операції, задля виробництва певної деталі паперового виробу. Станки для нанесення клею на паперовий виріб (папір чи картон) – це агрегати, за допомогою яких суттєво спрощується процес нанесення клею при формуванні пакувальної тари у порівнянні із проклеюванням вручну. Загальна технологія в таких станках передбачає, що паперові вироби пропускаються через роликові (вальцеві) системи, де один із валів передає шар (іноді підігрітого) клею на поверхню виробу. Товщину шару клею можна регулювати механічно. Наступним типом клеєнаносних пристроїв є (клеєналивні) машини [1], на рамі яких горизонтально закріплена насадка (лійка або сопло) для клеєнанесення з електронасосом для безперервної подачі рідких клеїв (клейовий пістолет) під тиском.

Постановка проблеми. Клеєналивальну машину з клейовим пістолетом можна інтегрувати у конвеєрну технологічну лінію. Найпростіші клейові пістолети, що подають розігрітий клей на поверхню паперового виробу, не переміщаються у просторі, позаяк мають статичне положення. А паперові вироби переміщуються конвеєром під клеєналивною машиною, клей подається безперервним потоком на поверхню паперового виробу. Ширина потоку клею може бути механічно (або електрично керовано) змінена. Безперервність потоку клею гарантує рівномірність подачі необхідної кількості на всю поверхню незалежно від геометричних вад [2]. Задача автоматизованої системи полягає у рівномірному нанесенні (підтримка густини та маси) клею на поверхню паперового виробу за чіткою, заздалегідь визначеною, геометрією. Проблема проклеювання поверхонь полягає у тому, що коли цільові паперові вироби (пакети) рухаються конвеєром, тоді такий динамічний процес вимагає точного позиціювання клейових пістолетів та задовільної траєкторії нанесення клею на поверхню виробів.

Ринок промислового обладнання представлений широким спектром готових технічних рішень, зокрема станків та клейових машин, а також комплексними роботизованими рішеннями з автоматизації нанесення клеїв на паперові вироби. Значна більшість цих систем орієнтована на досягнення максимальної виробничої продуктивності за одиницю часу (величезні однотипні партії). Переключитись на проклеювання іншої геометрії (не типових пакетів) такими системами не можливо, доведеться придбати нове обладнання або зупиняти виробництво для переналаштування лінії. Універсальними властивостями, аби швидко змінювати параметри вхідних виробів, наявні системи не володіють. Українських виробників подібних автоматизованих систем нанесення клею нажаль на ринку взагалі не спостерігається. Із урахуванням складної економічної ситуації в Україні, не завершену пандеміє та війну з росією, розробка таких автоматизованих систем доволі клопітливий процес, як із наукової, так і з практичної сторін.

Дослідження і розробка практичних рішень щодо автоматизації процесу проклеювання деталей пакетів є достатньо актуальною науковою проблемою та інженерною задачею. У статті подається новітнє програмно-технічне рішення з автоматизації нанесення клею на паперові вироби різних розмірів. Тим самим започатковується розробка таких універсальних вітчизняних систем, що не поступатимуться закордонним аналогам. Запропонована універсальна автоматизована система нанесення клею здебільшого орієнована на незначні партії замовників сувенірних та рекламних паперових пакетів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технології виробництва продукції легкої промисловості передбачають використання з'єднувальних компонентів на базі клейових сумішей, наприклад, галузь виробництва взуття, одягу, іграшок тощо. На ринку представлені готові роботизовані комплекси нанесення клеїв на цільові поверхні, наприклад, у взуттєвому виробництві. У статті [3] описано вдосконалену роботизовану машину, яка наносить клей на робочі поверхні, зокрема, розроблено автомат для приклеювання верху та гумових вставок на підошву взуття. Система характеризується наявністю пристрою технічного зору, задля визначення положення підошов й геометрії деталей взуття. Роботизований механізм керує клейовим пістолетом з допустимою похибкою позиціювання. Також враховується перепад висоти, щоб

утримувати клейовий пістолет на однаковій відстані від підошви по всій траєкторії проклеювання. Така система має статичний характер, позаяк взуттєві деталі не рухаються, а переміщається лише сопло клейового пістолету. У роботі [4] автори презентують конструкцію та автоматизовану системи виробництва паперових пакетів, щоб зменшити вартість їх виробництва у порівнянні із поліетиленовими пакетами. Проєкт реалізований на базі власного мікроконтролерного пристрою, а не серійного промислового логічного контролера. Ідея авторів полягає у тому, що деталі паперових пакетів подаються конвеєром до місця розташування клейової установки. Після чого, конвеєр із деталлю пакета зупиняється, далі відбувається нанесення клею на поверхню деталі через сопла клейових пістолетів. Після проклеювання конвеєр знову вмикається в роботу і проклеєна деталь пакету рушає до збірного етапу. Велику увагу приділено питанню електромеханічних розрахунків автоматизованої системи та розробці конвеєрного столу від етапу проектування в САПР до фізичного виготовлення деталей столу і монтажних робіт. Автори роботи [5] наводять опис власної розробки автоматизованої машини для виготовлення паперових пакетів. Відмінність від попередньої роботи полягає у тому, що ця машина проклеює пакети без конвеєрної лінії. Але машина авторів здатна розкладати пакет, проклеювати його деталі та складати ці деталі у фінальний пакет. Звичайні паперові пакети потребують спеціального дорогого паперу, що значно збільшує потім його загальну вартість. Це основна причина, через яку промисловістю виготовляється паперових пакетів менше аніж пластикових. Тому початкові інвестиції в машину, що виготовляє дорогі паперові пакети апріорі завеликі. У роботі [6] автори пропонують бюджетну розробку, яку може дозволити собі навіть невелика родина для дрібносерійного виробництва пакетів. Паперовий пакет виготовляється зі звичайних газет, що значно зменшує вартість готового пакета. В розробці [7] автори пішли далі та запропонували дешеву портативну автоматизовану машину для виготовлення паперових пакетів із дешевої паперової вторинної сировини (автори підкреслюють, що можна і з будь-якої макулатури). Система також може бути впроваджена у невеликому виробництві паперових пакетів.

Виходячи із результатів аналізу публікацій можна зробити висновок, що автоматизація виробництва паперової продукції широко представлена у світі від малого, середнього і до великого бізнесу. Є великі науково-дослідні групи та поодинокі аматори, що проєктують подібні системи від складних роботизованих комплексів до невеликих автоматів. Але значна більшість підприємств розгортають автоматизовані лінії так би мовити «під ключ», у складі готових машин для виробництва деталей пакетів, їх проклеювання та пакування. Це надає підприємствам певних гарантій якості, подальшого обслуговування й супроводження та мінімізації ризиків, у випадку відмови в роботі обладнання. Великий бізнес, мета якого випуск багатотиражних пакетів, цілком у змозі придбати фірмове дороговартісне обладнання. А от для малого та середнього бізнесу придбання фірмових автоматизованих ліній – непідйомна задача. Тому, аби конкурувати на ринку із крупним бізнесом, невеликим підприємствам варто розробляти власні технічні рішення щодо автоматизації процесів виробництва паперових виробів.

Об’єктом дослідження є технологічний процес нанесення клею на деталі паперових пакетів. **Предметом дослідження** є автоматизовані конвеєрні лінії проклеювання та збирання паперових деталей у цільовий пакет. Вітчизняне підприємство ТОВ «Сувенірні вироби» (м. Бориспіль) у лиці його директора, та науково-дослідний підрозділ кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформатики та обчислювальної техніки (КПІ імені Ігоря Сікорського), уклади партнерську угоду щодо інженерно-наукової співпраці на програмно-технічній базі підприємства. Силові електромеханічні частини системи та конвеєрний стіл розроблено та змонтовано фахівцями інженерного підрозділу підприємства. Деталь пакета (заготовка) виробляється в іншому цеху, тож його виготовлення не входить в постановку задачу. Згідно вихідного технічного завдання було сформовано мету, задачі та календарний план робіт щодо програмних рішень в системі автоматизації процесу проклеювання деталей паперових пакетів.

Метою дослідження є висвітлення інженерних рішень, що дають змогу з мінімальними витратами для бюджету підприємства, розробити інноваційну автоматизовану лінію проклеювання деталей паперових пакетів із урахуванням найкращих світових практик, та побудовану на сучасній програмно-апаратній базі. **Постановкою задачі** є розробка та впровадження у виробництво автоматизованої системи конвеєрного типу, що виконуватиме функції нанесення клею за геометричною траєкторією згідно фактичних параметрів пакету.

Опис об'єкту автоматизації

Зважаючи на результати пошуку, огляду та дослідження практичних рішень у світі, щодо автоматизації клеєнанесення на деталі паперових виробів, можна зазначити, що такий технологічний процес є складовим етапом виробництва сувенірної продукції, зокрема пакетів. Попередньо підготовлені (не проклеєні) паперові деталі (пакети) підлягають процесу так званого «розкриття» (розкладання), далі нанесенню клею і на фінальній стадії «закриття» (складання), а значить приклеювання деталей в суцільний пакет. Серед всіх етапів в межах цього дослідження буде розглянуто саме процес нанесення клею. Механічні пристосування та пристрої, що забезпечують відкриття та закриття пакету не досліджувались. Пакети пересуваються конвеєрною лінією рівномірно та прямолінійно. Геометричні параметри пакета (рис. 1) наступні:

- довжина пакета у зібраному стані Z, мм;
- ширина виступу для формування дна пакета k, мм;
- ширина згинів для звичайних пакетів, $n = k$, мм;
- ширина пакета у зібраному стані $S = 2k$, мм;
- пряма кромка проклеювання, $m = Z\text{-}2n$, мм;
- висота пакета L, мм;
- кут a у звичайних пакетів дорівнює 45 градусів.

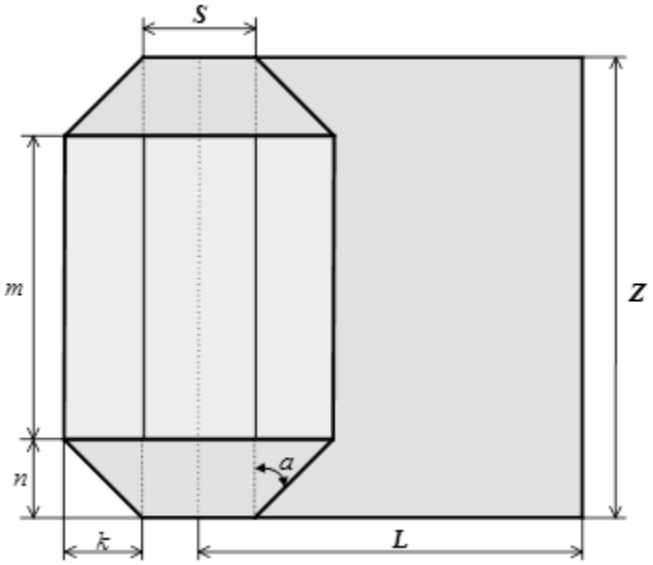


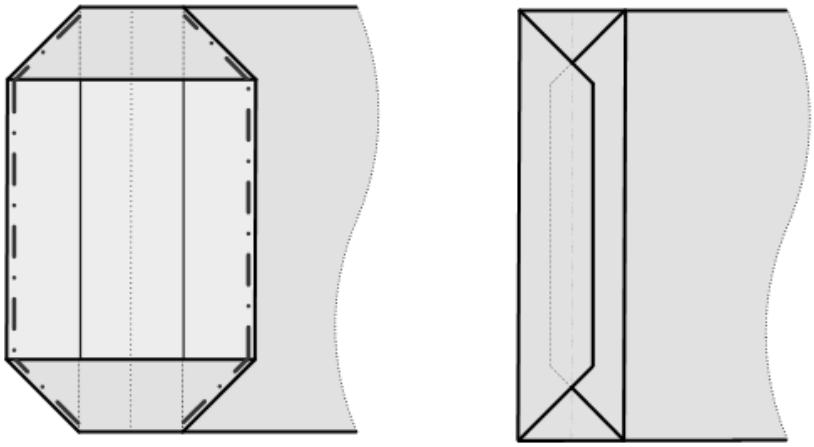
Рис.1 Геометричні параметри пакета

Пакети притискаються валками, тож швидкість їх пересування дорівнює швидкості конвеєрної лінії. Усі пакети мають однакову паперову структуру та розмірі. Проклеюванню підлягають різні партії, що мають різні параметри паперових пакетів. Пакети поступають на конвеєр окремими партіями по 50-500 шт. В межах партії всі пакети однакові, та мають наперед відомі параметри. Швидкість лінії стала під час проходження партії однотипних пакетів. Пакети опиняються на конвеєрі на відстані не менш ніж 100 мм один від одного. Деякі партії пакетів мають підсилювач дна – спеціальний картонний прямокутник у відповідності до розмірів пакету, що слугує прокладкою між дном пакету та його вмістом. Технічні вимоги до автоматизованої системи проклеювання деталей пакетів узгоджувались із замовником, що фінансує цей проєкт. Попередньо розроблене технічне завдання до системи включає такі головні вимоги:

- нормативна швидкість проклеювання - 30 пакетів на хвилину;
- швидкість конвеєра (V) - від 0 мм/с до 1500 мм/с;
- похибка від траєкторії клеєнанесення не повинна перевищувати 5 мм;
- висота пакета (L) від 10мм до 900мм;
- ширина пакета (S) від 10мм до 2000 мм;
- довжина пакета (Z) визначається датчиком (G) наявності пакету на конвеєрі;
- час проходження пакета через датчик G від 0 до 30 с.;
- проклеювання із урахуванням підсилювача дна.

На вхід конвеєрної лінії подається стандартний пакет. В залежності від наявності підсилювача дна є два способи проклеювання. За наявності підсилювача дна, деталь пакета потрібно проклеїти відповідною траєкторією (рис. 2а, штрихпунктирна лінія): два діагональних відрізки (кромки) та один відрізок паралельний довжині пакету з лівої та правої сторони. Для даного способу проклейки немає різниці який край загинати першим.

За відсутності підсилювача дна, траєкторія проклеювання відрізняється, зокрема, на правій кромці проклеюються тільки діагональні відрізки (дана кромка повинна надалі приклеюватись першою), в свою чергу лівий відрізок проклеюється по всьому контуру (на рис. 2. спочатку буде загинатись права частина, а вже потім ліва). Кількість клею, що подається клейовим пістолетом на поверхню деталі пакета, стала, та задається відповідним тиском подачі клею. Розмір краплі клею має задовольняти надійному склеюванню поверхонь після їх загинання та склеювання за допомогою прикінцевих валків на конвеєрі. А також забезпечити оптимальне використання клейової суміші без його витікання за межі проклеєних деталей пакету.



а) *б*)

Рис. 2 Траєкторія нанесення клею з підсилювачем дна (а) та складання деталей пакету (б)

Структурна схема автоматизованої системи

Згідно технічного завдання та вимог до автоматизованої системи розроблено структурну схему (рис. 3), яка складається із наступних компонентів:

- ПЛК – промисловий програмований логічний контролер;
- ПВВ – пристрій (модуль) вводу даних;
- ПВ – пристрій виводу даних;
- ДКЛ1, ДКЛ2 – датчики крайнього лівого положення ЛМ;
- ДКП1, ДКП2 – датчики крайнього правого положення ЛМ;
- ДШК – датчик лінійної швидкості конвеєру;
- ДП – датчик наявності пакету на конвеєрі;
- ЛП1, ЛП2 – модулі лінійного переміщення;
- СД1, СД2 – серводрайвери для керування сервомоторами ЛП1 та ЛП2.

Центральний програмований логічний контролер (ПЛК) за допомогою пристрою введення (ПВВ) отримує дані від периферійних пристроїв (датчики) та передає через пристрій виведення (ПВ) керуючі сигнал до виконавчих елементів (лінійні модулі та клейові пістолети). Стислий опис периферійних компонентів системи наведений у таблиці 1. Особливості моделей клейових пістолетів і машини, що подає безпосередньо до них розігрітий клей, не впливають на розробку та програмування контролеру, тому не зазначені у таблиці програмно-технічних засобів.

Модуль виводу також формує ШІМ-сигнали керування до серводвигунів модулів лінійного переміщення, які пересувають клейові пістолети. Дані між модулями та ПЛК передаються за промисловим протоколом MODBUS.

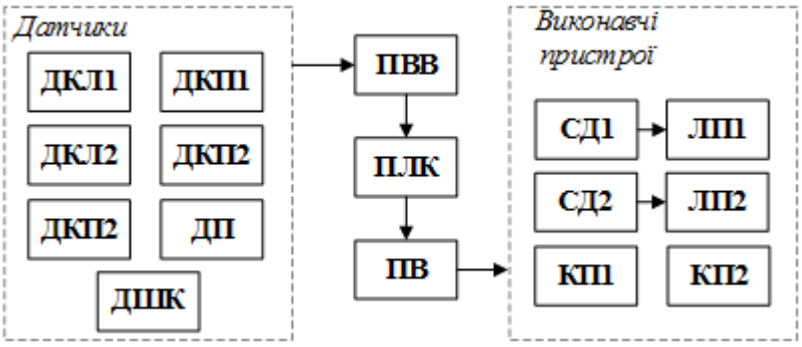


Рис. 3. Структурна схема автоматизованої системи проклеювання деталей пакета

Лінійний модуль переміщення має 1000 мм. робочого ходу каретки, що дозволяє розмістити на конвеєрі найбільш поширені за розміром пакети. Відповідно до вимог провідних виробників, висота пакету не перевищує 460 мм, а ширина 140 мм [8]. Таким чином максимальна довжина деталі стандартного пакета не перевищуватиме 460+140/2+20=550 мм, що цілком задовольняє габаритам лінійного приводу. За електромеханічне керування лінійним модулем переміщення відповідає комплект із сервомотора та серводрайвера. Максимальна швидкість ходу каретки лінійного модуля складає 1500 мм/с. Точність позиціонування дорівнює 0.1 мм. Основні режими керування: напрям руху та швидкість руху за ШІМ-сигналом. Для вимірювання сигналів крайнього положення кареток лінійного модуля було застосовано індуктивні датчики. Наявність пакету на конвеєрі фіксує датчик дифузійного відбиття (датчик сприймає та аналізує світло, відбите від поверхні матеріалу, що проходить повз нього).

Таблиця 1. Програмно-технічні засоби системи

№	***Компонент***	***Версія/Модель***
1	Панельний ПЛК	ОВЕН СПК107
2	Модуль дискретного виводу	МУ110-8К
3	Модуль дискретного вводу	МВ110-16ДН
4	Модуль лінійного переміщення	TBD60-1000
5	Комплект із сервомоторів та драйверів	130ST-M15015
6	Індуктивні датчики крайнього положення	LJ12A3-4-Z/BX
7	Датчик наявності пакета на конвеєрі	OGT100
8	IDE програмування ПЛК	CoDeSys V3.5

Фізичне розташування периферійних пристроїв на конвеєрі зображено на схематичному рис. 4. Цільовий пакет рухається від місяця (наразі ручної) подачі у сторону клейових пістолетів. Система окрім заданих користувачем параметрів, потребує обрахунок допоміжних параметрів, що залежать від конструктивного положення на конвеєрі периферійних пристроїв:

- D1 – відстань між ДП та КП1 (від 5 до 200 мм);
- D2 – відстань між КП1 та КП2 (від 200 до 400 мм);
- J – відстань між обмежувальною планкою подачі пакету та крайнім положенням КП1/КП2 (від 5 до 300 мм).

Область допустимих значень параметрів автоматизованої системи

Головним предметом математичного інтересу у даній системі виступає обрахунок траєкторії нанесення клею (проклеювання) в залежності від геометричних параметрів пакета. Для користувача, згідно з рис. 1, доступні для введення наступні параметри пакета: *S, L, Z* (для порівняння із підрахованим програмно), *k, n, m*. Кут *a* залишимо за замовчуванням, що дорівнює 45 градусів. Очевидно, що для задачі проклеювання висота пакета *L* не впливає на траєкторію, тому для обрахунків її не використовуємо.

Для початку визначимо область допустимих значень, себто опишемо неможливі параметри пакету. Даний етап безпосередньо допоможе при програмуванні контролера, оскільки дозволить відслідковувати некоректність введених оператором даних до початку запуску автоматизованої системи в роботу. Пряма кромка проклеювання $m >= 0$. Якщо $m < 0$, тоді дно пакету стає занадто

громіздким та приймає неправильну форму. Ширина виступу для формування дна пакета $k <= 2*S$, інакше стає неможливим згортання деталей пакету.

Обрахунок залежності швидкості руху каретки лінійного модуля від часу

Дано: точку (x_0; y_0) на прямокутній декартовій системі координат та функцію траєкторії $y = f(x)$, неперервну на проміжку (0, x_0) та функцію залежності переміщення матеріальної точки по осі 0X: $x = v_x \times t$.

Задача: знайти похідну функції залежності y від часу t (функцію швидкості v).

Алгоритм розрахунку швидкості лінійного приводу від часу наступний:

КРОК 1. Дано функцію $y = f(x)$, проте вона не обов'язково проходить точку (x_0; y_0), тому потрібно домножити її на коефіцієнт k. При домноженні неперервної функції на число, функція залишається неперервною: $y = k \times f(x)$.

КРОК 2. Знайти коефіцієнт k для функції в точці (x_0; y_0): $k = y_0/f(x_0)$.

КРОК 3. Підставити $x(t)$ у функцію $y = f(x)$: $y = f(t) = f(x(t))$.

КРОК 4. Знайти похідну функції y: $y' = f'(x)$.

Даний алгоритм дозволяє отримати функцію швидкості каретки ЛП, в залежності від обраної функції траєкторії та швидкості руху конвеєра.

Приклад 1. Лінійний закон переміщення при куті $a = 45$ градусів.

Дано: лінійна функція $y = x$, точка (200; 200), $x(t) = 300\ x \times t$.

Знайдемо k: $k = y_0/f(x_0) = 200/200 = 1$. Що є очікуваним, оскільки функція проходить дану точку. Підставляємо функцію $y = f(t) = f(x(t)) = 1 \times 300 \times t = 300 \times t$. Шукаємо похідну $v = y'(t) = (300t)' = 300$ мм/с. Що є очевидно правильним рішенням.

Алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи проклеювання деталей пакетів складається із наступних кроків:

ПОЧАТОК. Ініціалізація мережевого зв'язку ПЛК із ПВВ та ПВ.

КРОК 1. Переведення кареток ЛП1 та ЛП2 до фізичного крайнього лівого положення (позиція «0»).

КРОК 2. Виконати введення фізичних розмірів пакета через пульт оператора.

КРОК 3. Виконати початкове позиціювання кареток на певну відстань у мм. до робочих положень $Q1$ (для КП1) та $Q2$ (для КП2) в залежності від параметрів пакету: $Q1=(J+S/2+20)$ мм, $Q2=(J+S+S/2+20)$ мм.

КРОК 4. Запустити програму сканування наявності пакета на конвеєрі.

КРОК 5. За наявного пакету пересувати КП1 та КП2 згідно цільової траєкторії нанесення клею на деталі пакета.

КРОК 6. Зупинити роботу і перехід на **КІНЕЦЬ**, або повернення до КРОК5.

КІНЕЦЬ.

На першому кроці обидві каретки ЛП1 ЛП2 рухаються одночасно до спрацювання датчика крайнього положення. чи прийшли каретки у пункт призначення. Якщо обидві каретки досягли крайнього положення, тоді відносні позиції обох кареток приймаються за фізичний нуль. Якщо прийшла одна - чекаємо на другу. Якщо каретка не приходить до позиції «0» довше ніж за 10 секунд – формується повідомлення про несправність датчика або модуля лінійного переміщення.

На третьому кроці виконується початкове позиціювання кареток, але за умови попередньо вдалої спроби калібрування крайнього положення кареток. Якщо положення кареток не відкаліброване, тоді виконати крок 1 позиціонування, а вже потім повернутись до поточного кроку. Перед початком руху кареток до робочих положень відбувається підрахунок відстаней Q1 та Q2, необхідних для пересування кареток. Далі обраховані цільові переміщення переводяться у кількість імпульсів для передачі до СД1 та СД2. Вмикається програмно генератор імпульсів і дві каретки незалежно та практично паралельно рухаються до відповідних робочих позицій. Якщо, не досягнувши робочої позиції, спрацював ДКЛ1 (ДКЛ2), це свідчить про несправність датчика крайнього положення або користувачем внесені некоректні геометричні параметри пакета (які впливають на обрахунок робочих позицій).

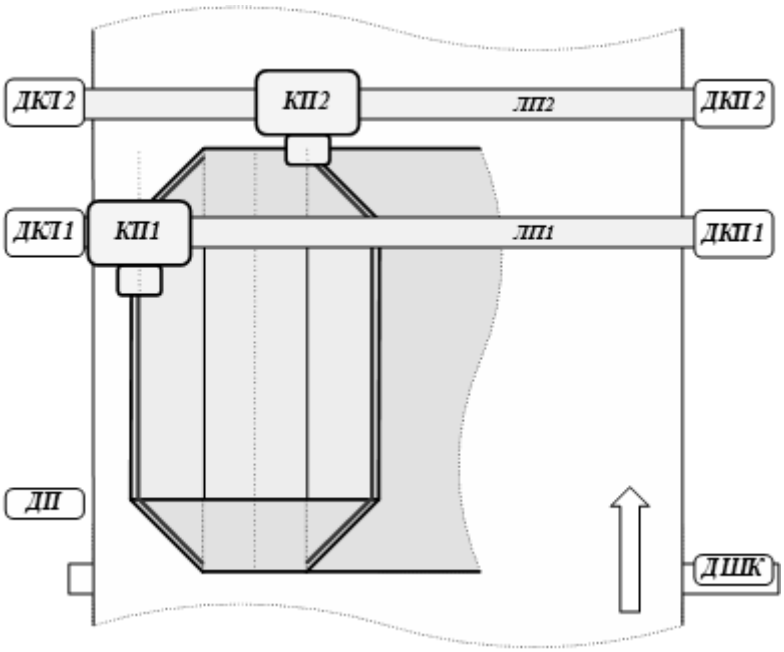


Рис. 4. Фізичне розташування периферійних пристроїв на конвеєрі

Після підготовчих етапів програма переводиться у режим сканування наявності пакетів на конвеєрі. Якщо пакет з'явився, тоді обчислюється його довжина (в залежності від швидкості конвеєру та часу виявлення пакета на конвеєрі) і КП1 та КП2 лінійно переміщуються згідно заданої траєкторії проклеювання. Після проклеювання деталей пакету КП1 та КП2 повертаються до робочих позицій і очікують на надходження чергового пакета. Виходячи із технічного завдання, де довжина пакету визначається на початку роботи системи, можемо зробити висновок, що перший пакет, в межах цієї серії проклеювання партії пакетів, буде відбракований.

Реалізація алгоритмічного забезпечення відбулася засобами інструментального програмного забезпечення для програмування промислових контролів CoDeSys V.3.5. Конвеєрний стіл, розробленої автоматизованої системи, зображений на рис. 5. На рисунку представлено фото, де зафіксовано момент проходу деталі пакета (папір білого кольору) під каретками модулів лінійного переміщення. На цьому фото змонтовані датчики, серводрайвери і лінійні модулі, але клейових пістолетів не змонтовано та відсутня клеєналивальна машина.



Рис. 5. Конвеєрний стіл автоматизованої системи в цеху підприємства

В середовищі CoDeSys було розроблено графічний інтерфейс лицьової панелі оператора та керуючу програму контролера СПК107. Засобами CoDeSys виконано попереднє імітаційне моделювання роботи автоматизованої системи. Були перевірені команди зчитування даних з датчиків, та алгоритми керування серводрайверами і клейовими пістолетами. Також у вигляді часових трендів отримано серію графіків симуляції роботи системи у псевдореальному часі. Крім того в межах цього дослідження вдалося виконати серію фізичних експериментів з нанесення графітовими олівцями (закріпленими на каретках) рисунків трапецеїдальної геометрії на тестову паперову деталь згідно заданих параметрів цільового пакету та швидкості конвеєру.

Висновки

У роботі було досліджено актуальне питання побудови автоматизованих машин та конвеєрних ліній для виконання технологічних операцій проклеювання паперових деталей для їх подальшого збирання в готовий пакет. Механізмів виготовлення деталей пакетів та складання деталей в пакет не досліджувалось. Проведено дослідження останніх наукових публікацій, що підтвердили актуальність проєктування низькобюджетних автоматизованих систем для вітчизняних виробників паперових пакетів. Згідно опитувальника від замовника, наведено стислий опис об'єкту автоматизації, зокрема геометричні параметри пакету та траєкторії проклеювання. Розроблено структурну схему автоматизованої системи проклеювання деталей пакета та алгоритмічне забезпечення керуючої програми контролера. Наведений список основних програмно-технічних засобів системи. Визначені області допустимих значень параметрів пакета. Наведений обрахунок залежності швидкості руху каретки модуля лінійного переміщення від часу. Представлено результат фізичного впровадження системи в цеховому приміщенні підприємства-замовника. В результаті експериментальних досліджень та інженерних робіт вперше на вітчизняну підприємстві в м. Бориспіль розроблено конвеєрну лінію та впроваджено програму промислового контролера, що виконує задачу керування лінійним переміщенням клейових пістолетів на столі конвеєру перпендикулярно руху пакетів.

Протягом тривалої часу від концепції до фізичної реалізації проєкту, як технічне завдання, так і автоматизована система набували незначних змін. Впровадження автоматизованої системи забезпечить зменшення активних працівників у виробничому цеху, які дотепер виконують ручні операції проклеювання. Але війна внесла свої корективи та не дозволила завершити повноцінне введення в штатну експлуатацію конвеєрної лінії на підприємстві. Тож науково-дослідні роботи станом натепер заморожені з причини правового режиму воєнного стану в Україні та зухвалої імперської поведінки країни-агресора. Автор та інші учасники проєкту не залишають надії повернутись до продовження досліджень та вдосконалення системи. Зокрема, в найближчих планах максимально швидко інтегрувати в автоматизовану систему машину, що буде подавати набір пакетів на конвеєрне полотно. Планується вдосконалення механічної конструкції над полотном конвеєра, а саме будуть додаватись механічні пристосування задля забезпечення процесу автоматичного відкривання та закривання пакету протягом його переміщення по конвеєру.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тарасенко М. Особенности клеенаносящих устройств. *Журнал профессионалов ЛПК. ЛесПромИнформ*. 2018. №4 (134). URL: https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5023.
2. Shanghai Printyoung ZB 50B 2 HandBag Bottom Gluing Machine. URL: https://www.youtube.com/watch?v=cB1KwCNxhBk.
3. Pagano, S., Russo, R., Savino, S. A Smart Gluing Process by a Vision Guided Robotic System. In: Niola, V., Gasparetto, A. (eds) Advances in Italian Mechanism Science. IFToMM ITALY 2020. *Mechanisms and Machine Science*, 2021, vol 91. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55807-9_47.
4. Kalai D. M. Low Cost Automated Paper Bag Making Machine. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2019, vol 7, Issue IV. https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.4596.
5. Kumar A., Rawat J., Singh A., Singh H. A Research on Development & Fabrication of Automated Paper Bag Making Machine. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2019, vol 06, Issue 12. https://www.irjet.net/archives/V6/i12/IRJET-V6I1295.pdf.
6. Patil N. R., Lobo J., Madki A., Bhande R., Bodhankar S. Automated Paper Bag Making Machine. *International Journal of Innovative Research in Technology*. 2017, vol 03, Issue 12. URL: https://www.ijirt.org/master/publishedpaper/IJIRT144494_PAPER.pdf.
7. Gandhare S. N., Kaware S. M., Pandey R. S., Purse S. V., Choudhari S. P., Dable S. D., Borker S. D. Design and Fabrication of Paper Bag Making Machin. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*. 2019, vol 05, Issue 02. URL: http://ijariie.com/AdminUploadPdf/DESIGN___FABRICATION_OF_PAPER_BAG_MAKING_MACHINE_ijariie9646.pdf.
8. Paper packets. Format & size specification. Harrshan Products URL: http://www.harshanproducts.com/format-size-specification.html.

REFERENCES

1. Tarasenko M. Features of gluing devices. *Journal of timber industry professionals. LesPromInform*. 2018. №4 (134). URL: https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5023. [in Russian]
2. Shanghai Printyoung ZB 50B 2 HandBag Bottom Gluing Machine. URL: https://www.youtube.com/watch?v=cB1KwCNxhBk.
3. Pagano, S., Russo, R., Savino, S. A Smart Gluing Process by a Vision Guided Robotic System. In: Niola, V., Gasparetto, A. (eds) Advances in Italian Mechanism Science. IFToMM ITALY 2020. *Mechanisms and Machine Science*, 2021, vol 91. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55807-9_47.
4. Kalai D. M. Low Cost Automated Paper Bag Making Machine. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2019, vol 7, Issue IV. https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.4596.
5. Kumar A., Rawat J., Singh A., Singh H. A Research on Development & Fabrication of Automated Paper Bag Making Machine. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2019, vol 06, Issue 12. https://www.irjet.net/archives/V6/i12/IRJET-V6I1295.pdf.
6. Patil N. R., Lobo J., Madki A., Bhande R., Bodhankar S. Automated Paper Bag Making Machine. *International Journal of Innovative Research in Technology*. 2017, vol 03, Issue 12. URL: https://www.ijirt.org/master/publishedpaper/IJIRT144494_PAPER.pdf.
7. Gandhare S. N., Kaware S. M., Pandey R. S., Purse S. V., Choudhari S. P., Dable S. D., Borker S. D. Design and Fabrication of Paper Bag Making Machin. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*. 2019, vol 05, Issue 02. URL: http://ijariie.com/AdminUploadPdf/DESIGN___FABRICATION_OF_PAPER_BAG_MAKING_MACHINE_ijariie9646.pdf.
8. Paper packets. Format & size specification. Harrshan Products URL: http://www.harshanproducts.com/format-size-specification.html.

Valerii Yalanetskyi *Senior Lecturer*
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
37 Peremohy Ave., Kyiv-56, Ukraine, 03056

Automated system for gluing parts of paper packages

Relevance. Gifts and souvenirs are usually packaged in paper. The research and development of practical solutions for automating the process of gluing packages is a relevant scientific problem and engineering task. The issue of the latest software and hardware solution for automating the application of glue to paper items of various sizes, mostly in small batches, is considered in this article.
Goal. The purpose of the paper is to present engineering solutions that allow to develop an automated line for gluing parts of a paper package with minimal costs for the company's budget.
Research methods. The object of automatization is studied, which includes the analysis of the range of paper product sizes and the current level of productivity in manual assembly workshops. The construction of automated conveyor lines for performing technological operations of gluing paper parts for their further assembly into a package is considered.
The results. A study of the latest scientific publications has been conducted, which confirmed the relevance of designing low-budget automated systems for domestic manufacturers of paper packages. The geometric parameters of the package and the gluing pattern are described. A structural diagram of an automated system for gluing parts of a package and algorithmic support for the control program of the controller have been developed. A list of the main software and hardware components of the system is given. The areas of permissible values of the package parameters are determined. The calculation of the dependence of the carriage speed of the linear motion module on time is given. The result of the physical implementation of the system in the customer's facility is presented.
Conclusions. The introduction of an automated system will reduce the number of employees who still perform manual gluing operations. In the near future, we are planning to integrate a machine that will feed a set of packages onto the conveyor belt into the automated system, as well as to improve the mechanical structure above the conveyor belt, namely, to add devices to ensure the automatic opening and closing of the package as it moves along the conveyor.

Keywords: *automated system, automation, glue application; paper products, package.*

Надійшла у першій редакції 01.03.2023, в останній - 03.04.2023.
The first version has been received on 01.03.2023, the final version - on 03.04.2023.