

МІСЯЦЬ МИХАЙЛО

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0009-0008-0354-5360>e-mail: Mischalke@i.ua

ОРЛОВСЬКИЙ БРОНІСЛАВ

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-0217-9633>e-mail: mip-knutd@ukr.net

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ І РОЗРАХУНКИ АЕРОДИНАМІЧНОГО ЗАХОПЛЮВАЧА ДЕТАЛЕЙ КРОЮ З ТЕКСТИЛЮ ЗІ СТОСУ МАНІПУЛЯТОРІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШВЕЙНИХ МАШИН

В роботі наведено результати розробки і побудови математичної моделі для проектування аеродинамічного захоплювача деталей крою з текстилю зі стосу маніпуляторів завантаження швейних машин загального призначення для створення на їх засадах робото технологічних комплексів цільового призначення. Автоматичне поштучне завантаження зі стосу швейних машин деталями крою з текстильних матеріалів є одним з основних етапів автоматизації обладнання та робочого процесу при використанні сучасних комп'ютерних швейних машин загального призначення. Виконано чисельний розрахунок стаціонарної підсмоктувальної сили $F_{ст}$ при поштучному відокремленні текстильних деталей крою зі стосу аеродинамічним захватом. Встановлено, що отримані результати розрахунку стаціонарної підсмоктуємої сили захоплювача швейного маніпулятора може бути використана і при інших досить близьких значеннях геометричних параметрів аеродинамічної пластини. Це дозволяє вважати, що рівняння за якими виконано розрахунок $F_{ст}$ достовірно описують вивчений робочий процес при прийнятих обмеженнях та ідеалізації робочої середовища для поштучного відділення зі стопи деталей крою з текстилю. Розроблено математичну модель аеродинамічного захоплювача деталей крою з текстилю зі стосу для автоматизованого завантаження швейних машин. Розроблено метод розрахунку стаціонарної підсмоктуємої сили аеродинамічного захоплювача швейного маніпулятора за результатами обчислень, заснованих на використанні математичної моделі дозволяє вважати, що рівняння за якими виконано розрахунок $F_{ст}$ достовірно описують вивчений робочий процес при прийнятих обмеженнях та ідеалізації робочої середовища для поштучного відділення зі стопи деталей крою з текстилю.

Ключові слова: аналітична модель, розрахунки, аеродинамічний захоплювач, деталі крою з текстилю, стос, швейний маніпулятор, завантаження, швейна машина

Misiats Michael, Orlovsky Bronislav
Kyiv National University of Technology and Design

ANALYTICAL MODEL AND CALCULATIONS OF THE AERODYNAMIC RETAINER OF CUT DETAILS FROM TEXTILE FROM THE STACK OF SEWING MACHINE LOADING MANIPULATORS

The paper presents the results of the development and construction of a mathematical model for the design of an aerodynamic grabber of cut textile parts from a pile of loading manipulators of general-purpose sewing machines to create purpose-built robotic technological complexes based on them. Automatic one-by-one loading of cut parts from textile materials from a stack of sewing machines is one of the main stages of automation of the equipment and work process when using modern general-purpose computerized sewing machines. A numerical calculation of the stationary suction force F_{st} was performed during the piece-by-piece separation of cut textile parts from the stack by an aerodynamic gripper. It was established that the obtained results of the calculation of the stationary suction force of the gripper of the sewing manipulator can be used for other fairly close values of the geometric parameters of the aerodynamic plate. This allows us to assume that the equations used to calculate F_{st} reliably describe the studied work process under the accepted limitations and idealization of the work environment for piece-by-piece separation of cut textile parts from the foot. A mathematical model of an aerodynamic grabber of cut textile parts from a stack for automated loading of sewing machines has been developed. A method of calculating the stationary suction force of the aerodynamic grabber of the sewing manipulator based on the results of calculations based on the use of a mathematical model has been developed, which allows us to assume that the equations used to calculate F_{st} reliably describe the studied work process under the accepted limitations and idealization of the working environment for piece-by-piece separation of textile cut parts from the foot.

Keywords: analytical model, calculations, aerodynamic grabber, textile cut details, pile, sewing manipulator, loading, sewing machine

Вступ

Без вирішення науково-технічної задачі автоматизації завантаження швейних машин деталями крою з текстилю не може бути вирішена проблема автоматизації швейних машин і створення на їх базі швейних робото технологічних комплексів цільового призначення. Складність проблеми пояснює, чому ця проблема залишається невирішеною до теперішнього часу для автоматизованого завантаження швейних машин деталями крою з текстилю при виготовленні одягу масового промислового виготовлення цивільного і військового призначення. Подальше вдосконалення теоретичних методів проектування на засадах розробки аналітичної моделі і розрахунків аеродинамічного захоплювача деталей крою з текстилю зі стосу швейних маніпуляторів завантаження швейних машин направлена на вирішення цієї актуальної науково-технічної проблеми.

Науково-технічною проблемі автоматизованого завантаження машин легкої промисловості на прикладах взуттєвих машин присвячені роботи професора Піскорського Г.А. [1] та її учнів [2]...[20]. Показано, що об'єднання в єдиному технологічному циклі модуля завантажувального пристрою (МЗП) та технологічної машини утворюється робото-технологічний комплекс (РТК) цільового призначення. При цьому відбувається

автоматичне переміщення орієнтованими в площині жорстких та повітря-непроникних деталей до робочих органів машин для виготовлення взуття. Питання об'єктно-орієнтованого проектування МЗП з цикловою системою управління для взуттєвого технологічного обладнання розглянуті в роботі [21,22]. Більшість матеріалів та технологічне обладнання для виготовлення одягу з текстилю відрізняються від матеріалів та обладнання для виготовлення взуття. Практика показала економічну надмірність застосування промислових роботів (ПР) для автоматизації машин легкої промисловості. Але актуальною залишається проблема розробки технологічних модулів для захоплення текстильних деталей крою з пачки для створення РТК на основі автоматизованих швейних машин. Деталі з текстилю відносяться до плоских повітря-проникливих об'єктів маніпулювання, що мають малу масу (до $0,1 \dots 0,4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$) та підвищену деформованість при маніпулюванні.

Об'єкт та методи дослідження

Для виробів з текстилю в роботах [23] ... [25] на основі промислових роботів з технічним зором ведеться пошук застосування мехатронних систем для визначення потенційно прийнятних точок маніпулювання із забезпеченням зворотного зв'язку з модулем захоплення матеріалів, що легко деформуються, таких як тканини. При цьому промислові роботи оснащуються складними системами технічного зору та штучного інтелекту [26] ... [29] для попереднього розпізнавання зім'ятих ділянок таких матеріалів для подальшого їх маніпулювання із застосуванням різних візуальних сенсорів. Використовують механічні три пальцеві захвати з декількома ступенями рухливості та виконують програмні переміщення у просторі окремих ділянок або вироби з текстилю. Застосування промислових роботів з такими захоплювачами замість швейних маніпуляторів для автоматичного завантаження кожної швейної машини є економічно недоцільним.

Метою роботи є аналітичні дослідження аеродинамічного захоплювача деталей крою з текстилю зі стосу маніпуляторів завантаження промислових швейних машин загального призначення [30] і створення на їх засадах робото технологічних комплексів цільового призначення.

Постановка завдання

Для поштучного відокремлення текстильних деталей крою зі стосу, матеріал яких є діелектриком, неможливе використання магнітних захватів. З механічних та пневматичних захватів відомі різні контактні захвати для маніпуляторів з голками, цангами, кардолентами, ліпучками, пневмопримоктувачами та іншими робочими інструментами [31, 32]. При застосуванні контактних захватів відбувається механічне або пневматичне проникнення робочого інструменту або робочої середовища в ниткову пористу структуру деталі та захопленням та деформацією окремих ділянок деталі з текстилю. Недоліком таких технічних засобів і способів захоплення деталей крою з текстилю зі стосу є деформація деталі та зміна її плоскої форми в об'ємну, а потім потрібне зворотне повернення з об'ємної форми в плоску деталі крою з текстилю. Для зменшення зміни плоскої форми деталі топологія точок захоплення потребує використання багато інструментальних робочих органів захватів та реверсом їх роботи у робочій зоні голкової пластини швейної машини для повернення зміненої форми деталі у плоску форму. У вишивальних CNC-машинах попереднє закріплення деталі з текстилю виконується вручну у плоскому вигляді у захваті-п'яльцях. Початковим етапом проектування та моделювання робототехнологічних комплексів цільового призначення є розкриття механізму процесу поштучного відокремлення текстильних деталей крою з МЗП з наступним обґрунтованим вибором аеродинамічного захоплювача з множини функціонально-адекватних захоплювачів деталей крою з текстилю. Сили зчеплення деталей крою з текстилю у стосі завжди перевищують силу ваги деталі за рахунок проникнення та переплетення ворсу ниток між собою деталей у стосі і тому для гарантованого відокремлення тільки однієї деталі з МЗП потрібно застосування додаткових програмних та апаратних пристроїв [33] для поштучного відокремлення текстильних деталей крою при автоматизованому завантаженні швейних машин.

Для поштучного захвату текстильних деталей крою з МЗП запропонован безконтактний захват з аеродинамічної пластиною [34, 35], у якому робочим середовищем є вакуумне середовище, що перекриває всю поверхню верхньої деталі робочого органу захвату і який кінематично з'єднано з МЗП.

Результати та їх обговорення

Автоматичне поштучне завантаження зі стосу швейних машин деталями крою з текстильних матеріалів є одним з основних, але менш вивчених і розроблених етапів автоматизації обладнання та робочого процесу при використанні сучасних комп'ютерних швейних машин загального призначення, наприклад, типу серії Juki DDL 9000C (Японія) та інших. Для циклу роботи швейного маніпулятора справедлива наступна умова:

$$t_{\text{зав}} (t_{\text{пв}}, t_{\text{п}}, t_{\text{ор}}) \leq t_{\text{шм}} (n, T, N, t_{\text{доп}}), \quad (1)$$

де $t_{\text{зав}}$ – час завантаження;

$t_{\text{пв}}$ – час поштучного відокремлення деталі з текстилю зі стосу;

$t_{\text{п}}$ – час переміщення;

$t_{\text{ор}}$ – час орієнтації;

$t_{\text{шм}}$ – час виконання стібків на швейній машині;

n – частота обертання головного валу машини;

T – тип технологічної операції;

N – кількість перехватів;

$t_{\text{доп}} = \sum_i^5 t_i$ – затрати часу на виконання наступних робочих процесів:

t_1 – зупинка головного валу машини з позиціонуванням голки;

t_2 – автоматична обрізка ниток;

- t_3 – автоматичний під'єм/опускання притискноїлапки;
 t_4 – автоматичне відключення регулятора натягу голкової нитки;
 t_5 – знімання з'єднаних нитковим швом деталей.

Для захоплювача швейного маніпулятора з аеродинамічною пластиною (рис. 1) робочим середовищем є "м'який" вакуум, який створюється над поверхнями верхньої деталі крою з текстилю в стосі і аеродинамічної пластини. Аеродинамічна пластина 1 змонтована на пневматичному колектору і містить пневмосопла $e1 \dots e10$ на відстані «а» на колекторі.

Для отримання розрахункових залежностей конструктивних параметрів аеродинамічного захоплювача швейного маніпулятора та режимів його роботи необхідно сформулювати змістовну задачу проектування та побудувати математичну модель робочого процесу.

Розглядатимемо повітряний потік як ідеальну не стисливу рідину і замість розгляду системи сопел виділимо одне з них C_i . Розглянемо область простору між площинами $z = -a$ і $z = a$ в обраній системі координат (рис.1). Будемо вважати що рух повітря, що виходить із сопла C_i і підсмоктується цим соплом повітря з навколишнього простору відбувається між цими площинами, тобто нормальні складові швидкості повітря на площинах розділу $V_z = 0$ при $z = \pm a$.

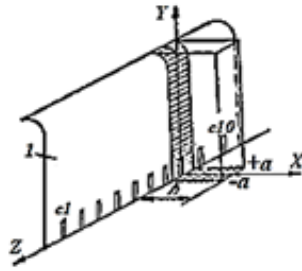


Рис. 1. Прийнята система координат до розрахункової схеми аеродинамічного захоплювача

Для опису досліджуваного робочого процесу поштучного відділення деталей крою з текстилю з магазинного завантажувального пристрою (МЗП) за перерізами $S_0 \dots S_5$ аеродинамічної пластини необхідно скласти рівняння руху деталі та систему рівнянь для знаходження розподілу тиску за перерізами аеродинамічної пластини.

Мала просторова протяжність аеродинамічної пластини 1 дозволяє знехтувати впливом на рух повітря масових сил (сил тяжіння). Дійсно, зміна тиску Δp і переміщенні деталі по вертикалі на величину y буде становити:

$$\Delta p = \frac{p \cdot g \cdot y}{R \cdot T}, \quad (1)$$

$R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – газова стала повітря;

$T = 20^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$ - температура в градусах Кельвіна.

З виразу (1) отримуємо при $y = 10$ мм:

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{g \cdot y}{R \cdot T} = \frac{9.81 \cdot y}{287 \cdot 293} = 0.00001 = 0.0001\%$$

Вважаючи рух деталі з текстилю при поштучному відділенні зі стопки плоским рівнянням руху має наступний вигляд:

$$\ddot{x} = \left(\frac{1}{m} F(x, \dot{x}) \right), \quad (2)$$

де m – маса деталі з текстилю; F – проекція на вісь x всіх діючих сил.

Вплив сумарної сили на деталь з текстилю (об'єкт маніпулювання) можна надати у вигляді двох складових: F_{st} – стаціонарної відсмоктувальної сили, спричиненої дією всіх пневмосопел і аеродинамічного ефекту та F_{din} – динамічної присмоктувальної сили пропорційної квадрату швидкості руху.

$$F_{\Sigma} = (x, \dot{x}) = F_{st} + F_{din}, \quad (3)$$

де $F_{st} = 2a \cdot c_k \int_0^{L+R_k} \Delta p(y) dy$ – стаціонарна присмоктувальна сила

$F_{din} = c_k \cdot \rho \cdot S_{om} \cdot \frac{\dot{x}^2}{2a}$ – динамічна присмоктувальна сила

$2a, L, R_k$ – геометричні параметри аеродинамічної пластини (рис..2);

c_k – кількість пневматичних сопел;

$\Delta p(y)$ – функція розподілу тиску за перерізами робочого інструменту (аеродинамічної пластини) за координатою y ;

ρ – щільність робочого середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$;

S_{om} – площа поверхні деталі крою з текстилю (об'єкта маніпулювання).

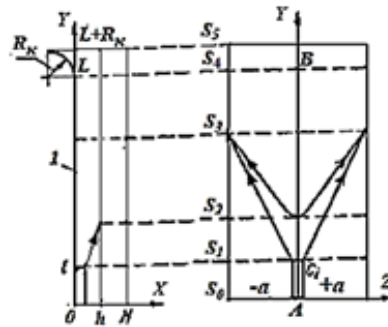


Рис. 2. Розрахункова схема аеродинамічної пластини 1: $S_0 \dots S_5$ – перетини робочого інструменту

Рух робочого середовища в перерізах $S_0 \dots S_5$ аеродинамічної пластини спричиняє ежектуючу дію струмів повітря (рис.2 та рис.3). У перерізі S_1 високонапірне робоче середовище створює знижений статичний тиск. Під впливом різниці тисків у проміжок між пластинною і деталлю крою з текстилю підсмоктується атмосферне повітря (ділянка $S_0 \dots S_1$). На ділянках $S_1 \dots S_3$ відбувається змішування затопленого струменя з повітрям, що підсмоктується. Вважатимемо, що у ділянках $S_3 \dots S_4$ процес змішування робочого середовища завершився і його швидкість з усього перетину змінюється несуттєво.

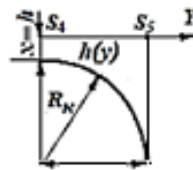


Рис. 3. Фрагмент розрахункової схеми аеродинамічної пластини: R_k - радіус козирка пластини

На ділянці $S_4 \dots S_5$ відбувається розширення потоку рахунок вигину пластини, зменшення швидкості потоку і вирівнювання його тиску з атмосферним тиском. Таким чином принципова схема робочого процесу якісно може бути представлена у вигляді графіка розподілу тиску по перерізах робочого інструменту (рис.4.).

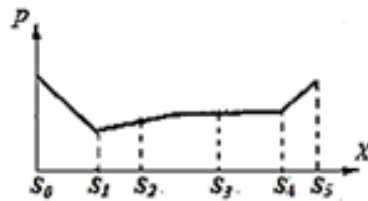


Рис. 4. Графік якісного аналізу формування зміни тиску робочого середовища по перетинам аеродинамічного захоплювача деталей крою з текстилю зв стосу

Зменшення тиску протилежно підвищенню активності дії вакууму, як рушійних локальних сил для відокремлення локальних ділянок деталі крою з текстилю. Тому якщо розглядати графік на рис.4.1, в у дзеркальному відображенні це можна вважати графік зміни локальних рушійних сили по довжині аеродинамічної пластини.

Можна вважати, що з графіку на рис.4 у дзеркальному відображенні впливає наближена геометрична форма деталей крою з текстилю у момент часу початку процесу поштучного відокремлення, а після відокремлення м'які деталі утрачають подовжню стійкість і з плоскої форми переходять у опуклу форму. Кромка деталі під козирком аеродинамічної пластини радіусом R_k на фазі польоту і левітації робить коливання. Останні є результатом утворення вихорів пнемо струменів робочого середовища під козирком пластини. Тому критерієм поштучного відокремлення деталей крою з текстилю зі стосу можна вважати умову втрати поздовжньої стійкості деталі крою з текстилю за формулою Ейлера:

$$P = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{(\mu \cdot l_T)^2}, \tag{6}$$

де P – критична сила, перевищення якої змінює плоску форму деталі крою з текстилю (Н);

E – модуль пружності матеріалу (Н/мм²);

J – момент інерції поперечного перерізу деталі крою з текстилю (м⁴);

l_T – довжина зразка (м);

μ – коефіцієнт, який враховує закріплення зразка між валками при переміщенні вертикально вгору до втрати поздовжньої стійкості.

Перейдемо від якісного аналізу до складання рівнянь, що кількісно описують розподіл тиску за перерізами робочого інструменту.

Для довільного перерізу σ енергія потоку запишеться:

$$E_\sigma = p_\sigma + \frac{\gamma}{2g} \alpha_\sigma v_\sigma^2, \tag{7}$$

де p_σ – тиск у перерізі σ ;

$\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря (при 20°C);

$\alpha_\sigma = \frac{1}{S_\sigma v_\sigma^3} \int_{-\sigma}^{+\sigma} v^3 d\sigma$ – коефіцієнт неоднорідності потоку, що враховує нерівномірність швидкості

потоку робочого середовища у перерізі σ ;

$v = \frac{1}{S_\sigma} \int_{-\sigma}^{+\sigma} v d\sigma$ – середня швидкість потоку робочого середовища в перерізі σ площі S_σ .

Витрати повітря в перерізі σ визначаємо за формулою:

$$Q_\sigma = v_\sigma S_\sigma \quad (8)$$

Для перерізів $A=S_0$ і $B=S_5$ рівняння Бернуллі для потоку робочого середовища з урахуванням (6) має наступний вигляд:

$$p_A + \frac{\gamma}{2g} \alpha_A v_A^2 = p_B + \frac{\gamma}{2g} \alpha_B v_B^2 - \Delta p_{AB}, \quad (9)$$

де $\Delta p_{AB} = \lambda \cdot \frac{l_{AB}}{4R_r} \cdot \frac{\gamma}{2g} v^2$ – втрати тиску на тертя у перерізах A і B ,

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (10)$$

λ – коефіцієнт втрат на тертя, який визначається по формулі Блазиуса, а число Рейнольдса визначається через гідравлічний радіус R_r , який дорівнює відношенню площі перерізу до його периметру Π .

$$Re = \frac{4R_r v_\sigma}{\nu} \quad (11)$$

де $\nu = 1,45 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря.

Для ширини каналу розміром $2a$ (рис.1), вважаючи $x = h$ дуже малими величинами в порівнянні з шириною каналу, можна для гідравлічного радіусу записати:

$$R_r = \frac{S_\sigma}{\Pi} = \frac{2ax}{4a} = x/2 \quad (12)$$

Для визначення повного перепаду тиску щодо атмосферного по довжині аеродинамічної пластини, а отже, сумарної сили, що підсмоктує деталь з текстилю, необхідно скласти рівняння перепаду тиску для довільних перерізів від S_0 до S_5 і вивести формули, що визначають швидкість v_0 підсмоктується повітря в залежності від його витрати з пневмо сопла. Для вхідного перерізу S_0 тиск дорівнює атмосферному p_0 , а коефіцієнт неоднорідності потоку $\alpha_0=1$. Вважаємо, що швидкість потоку незначно змінюється по всьому перерізу і приблизно рана швидкості v_0 , тоді з урахуванням виразу (7) енергія потоку для перерізу S_0 дорівнюється:

$$E_0 = \left(p_0 + \frac{\gamma}{2g} v_0^2 \right) (2ax - S_c) v_0, \quad (13)$$

де S_c – площа перерізу сопла.

Позначаючи через S_{1-0} перерез, найближчий до S_1 і який не включає потік, що виходить з сопла, маємо:

$$E_{1-0} = \left(p_1 + \frac{\gamma}{2g} v_0^2 \right) (2ax - S_c) v_0, \quad (14)$$

Відповідно, для перерізу E_{1+0} сопла дається потік Q_c :

$$E_{1+0} = \left(p_1 + \frac{\gamma}{2g} v_1^2 \right) [(2ax - S_c) v_1 + Q_c], \quad (15)$$

де $Q_c = S_c v_c$ – потік (витрата) повітря із сопла, $\left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right]$;

v_c – середня швидкість робочого середовища в перерізі S_1 аеродинамічної пластини 1 (рис.1), яка визначається за виразом:

$$v_c = \frac{(2ax - S_c) v_0 + S_c v_c}{2ax} = v_0 + \frac{S_c}{2ax} (v_c - v_0) = \left[v_0 \left(1 - \frac{S_c}{2ax} \right) + \frac{Q_c}{2ax} \right]; \quad (16)$$

Коефіцієнт неоднорідності швидкості потоку згідно з виразом (17) дорівнюється:

$$\alpha_1 = \frac{(2ax - S_c) v_0^3 + S_c v_c^3}{2ax \cdot v_c^3} = \frac{v_0^3 + \frac{S_c}{2ax} (v_c^3 - v_0^3)}{\left[v_0 + \frac{S_c}{2ax} (v_c - v_0) \right]^3} = \frac{v_0^3 + \frac{S_c}{2ax} (v_c^3 - v_0^3)}{\left[v_0 \left(1 - \frac{S_c}{2ax} \right) + \frac{Q_c}{2ax} \right]^3} \quad (17)$$

Вважаючи, що коефіцієнт неоднорідності потоку дорівнює одиниці для енергії потоку для перерізів S_4 і S_5 аеродинамічної пластини за аналогією з виразом (13) отримаємо:

$$E_4 = \left(p_4 + \frac{\gamma}{2g} v_4^2 \right) 2ax v_4; \quad (18)$$

$$E_4 = \left(p_0 + \frac{\gamma}{2g} v_5^2 \right) 2a(x + R_k) v_5, \quad (19)$$

де $v_4 \approx v_1$ і v_5 – середні швидкості, що визначаються через сумарну витрату робочого середовища по перерізам S_4 і S_5 :

$$2ax v_4 = 2a(x + R_k) v_5 \quad (20)$$

Із закону збереження енергії:

$$E_4 = E_5 - \Delta E_{4-5}, \quad (21)$$

де ΔE_{4-5} – втрати енергії на розширення потоку і на тертя та розширення потоку на козирку аеродинамічної пластини.

Оскільки втрати на розширення потоку незначні і ними можна знехтувати враховуємо у виразі (21) лише втрати напором на тертя. Тоді з виразу (21) для тиску в перерізі 4 пластини впливає:

$$p_4 = p_0 + \frac{\gamma}{2g} (v_4^2 - v_5^2) - \Delta p_{4-5}, \quad (22)$$

$$\Delta p_{4-5} = \lambda \frac{\gamma}{2g} \int_{S_4}^{S_5} \frac{v_\sigma^2(y)}{4R_r(y)} dy, \quad v_\sigma = \frac{v_4 x}{x+h(y)}. \quad (23)$$

Для гідравлічного опору R_r в підінтегральному вираженні (23) з урахуванням позначень на рис.1,г можна записати:

$$R_r(y) = \frac{x+h(y)}{2}, \quad (24)$$

$$h(y) = R_k - \sqrt{R_k^2 - y^2}.$$

Тоді вираз (23) приймає вигляд (25):

$$\Delta p_{4-5} = \lambda \frac{\gamma}{4g} \int_{S_4}^{S_5} \frac{v_4^2 x^2}{[x+h(y)]^3} dy = \lambda \frac{\gamma}{4g} \cdot v_4^2 x^2 \int_{S_4}^{S_5} \frac{1}{(x+R_k - \sqrt{R_k^2 - y^2})^3} dy \quad (25)$$

Виконавши заміну змінної y на $S = \frac{y}{R_k}$ отримуємо:

$$\Delta p_{4-5} = \lambda \frac{\gamma}{4g} \cdot \frac{v_4^2 x^2}{2R_k^3} \int_0^1 \frac{ds}{\left(\frac{x}{R_k} + 1 - \sqrt{1-s^2}\right)^3}. \quad (26)$$

Тоді тиск p_4 у перерізі S_4 (22) аеродинамічної пластини з урахуванням виразу (26) визначається за формулою:

$$p_4 = p_0 + \gamma \cdot \frac{v_4^2}{2g} \left[\frac{x^2}{(x+R_k)^2} - \lambda \cdot \frac{x^2}{2R_k^3} \int_0^1 \frac{ds}{\left(\frac{x}{R_k} + 1 - \sqrt{1-s^2}\right)^3} \right] \quad (27)$$

Аналогічно можна зв'язати тиск у перерізах S_{1+0} і S_4 пластини (рис.4.1,б):

$$p_1 = p_0 + \gamma \cdot \frac{v_1^2}{2g} \left(1 - \alpha_1 + \lambda \cdot \frac{(L-l)}{2x} \right) \quad (28)$$

Після підстановки у вираз (28) виразу (27) для p_4 отримуємо зв'язок мінімального статичного тиску в перерізі S_1 аеродинамічної пластини з атмосферним тиском повітря, яке підсмоктується:

$$p_1 = p_0 + \gamma \cdot \frac{v_1^2}{2g} \left[\frac{x^2}{(x+R_k)^2} - \lambda \cdot \frac{x^2}{2R_k^3} \int_0^1 \frac{ds}{\left(\frac{x}{R_k} + 1 - \sqrt{1-s^2}\right)^3} + \lambda \cdot \frac{(L-l)}{2x} - \alpha_1 \right]. \quad (29)$$

В праву частину рівняння (29) входить коефіцієнт α_1 неоднорідності потоку, який залежить від швидкості v_0 потоку. Швидкість потоку v_1 в перерізі S_1 згідно з виразом (8) пов'язана через сумарну витрату повітря $Q_1 = v_1 S_1$.

Коефіцієнт втрат на тертя $\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt{Re}}$ визначається за формулою Блазиуса.

$Re = \frac{4R_r v_1}{\nu}$ – число Рейнольдса, де $R_r = \frac{S_1}{4a}$ – гідравлічний радіус;

$\nu = 1.45 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря.

З урахуванням виразу (16) для числа Рейнольдса отримуємо вираз:

$$Re = \frac{4R_r v_1}{\nu} = \frac{4 \cdot \frac{S_1}{4a} \cdot \frac{Q_1}{S_1}}{\nu} = \frac{Q_1}{a \cdot \nu} = \frac{v_1 \cdot 2ax}{a \cdot \nu} = \frac{[v_0(1 - \frac{S_c}{2ax}) + \frac{Q_c}{2ax}] \cdot 2x}{\nu} \quad (30)$$

З іншого боку, мінімальний тиск p_1 пов'язаний з атмосферним тиском p_0 співвідношенням:

$$p_1 = p_0 - \Delta p_{\Pi}, \quad (31)$$

де Δp_{Π} – втрати тиску у потоці на вході $\Delta p_{\text{вх}}$ через перетин S_0 і на тертя $\Delta p_{\text{т}}$:

$$\Delta p_{\Pi} = \Delta p_{\text{вх}} + \Delta p_{\text{т}}, \quad (32)$$

тут $\Delta p_{\text{т}} = \lambda \cdot \gamma \cdot \frac{v_0^2}{2g} \cdot \frac{l}{4R_r}$;

$$\Delta p_{\text{вх}} = k_{\mu} \cdot \gamma \cdot \frac{v_0^2}{2g};$$

$k_{\mu} = \frac{1}{\mu^2} = 1,984$ – коефіцієнт втрат на вході ($\mu=0,71$ [2]).

З (31) з урахуванням (32) отримаємо:

$$p_1 = p_0 - \gamma \cdot \frac{v_0^2}{2g} \cdot \left(k_{\mu} + \lambda \cdot \frac{l}{2x} \right) \quad (33)$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (33) і (29) отримуємо рівняння, яке в сукупності з (10), (16), (17), (29) і (30) утворює наступну замкнуту систему рівнянь, що дозволяє визначати швидкість підсмоктуючого робочого середовища, та визначити розподіл тиску, за перерізами аеродинамічної пластини:

$$v_0^2 \left(k_{\mu} + \lambda \cdot \frac{l}{2x} \right) = \left[v_0 \left(1 - \frac{S_c}{2ax} \right) + \frac{Q_c}{2ax} \right]^2 * \left[\alpha_1 - \frac{x^2}{(x+R_k)^2} + \lambda \cdot \frac{x^2}{2R_k^3} \int_0^1 \frac{ds}{\left(\frac{x}{R_k} + 1 - \sqrt{1-s^2}\right)^3} - \lambda \cdot \frac{(L-l)}{2x} \right], \quad (34)$$

де $\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt{Re}}$ – коефіцієнт витрат на тертя;

$Re = \frac{[v_0(1 - \frac{S_c}{2ax}) + \frac{Q_c}{2ax}] \cdot 2x}{\nu}$ – число Рейнольдса;

$\alpha_1 = \frac{(v_c^3 - v_0^3 + \frac{S_c v_0^3}{2ax})}{[v_0 + (1 - \frac{S_c}{2ax}) + \frac{Q_c}{2ax}]^3}$ – коефіцієнт нерівномірності потоку.

Таким чином, для визначення сумарної підсмоктувальної сили, яка створена дією всіх сопел аеродинамічної пластини захоплювача швейного маніпулятора, необхідно скористатися виразами (33) і (34).

Для розрахунку отриманої підсмоктувальної сили з використанням отриманих формул (34) приймаємо наступні конструктивні параметри аеродинамічної пластини: довжина пластини $L = 0,33$ м; довжина сопла $l = 0,1$ м; ширина каналу для потоку повітря $2a = 0,1$ м; відстань від пластини до поверхні верхньої деталі у пащі $h = x = 0,008$ м; переріз сопла $S_c = 3,14 \cdot 10^{-6}$ м²; радіус козирка пластини $R_k = 0,05$ м; витрати потоку повітря з сопла

$$Q_{c1} = 8,333 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; Q_{c2} = 9,170 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; Q_{c3} = 9,722 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; Q_{c4} = 13,890 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Для заданих значень геометричних параметрів пластини та значень обчислимо вирази значень, що входять до рівняння (4.34): $\frac{2l}{x} = 25$; $2ax = 8 \cdot 10^{-4}$ м²; $\frac{1}{2ax} = 1250$; $\frac{S_c}{2ax} = 0,00393$; $\frac{x^2}{x+R_k} = 0,019$; $\frac{x^2}{2R_k^3} = 0,0256$; $\frac{L-l}{2x} = 14,4$.

Для знаходження інтеграла чисельним методом визначаємо значення підінтегральної функції.

$$f(S) = \frac{1}{(1,16 - \sqrt{1-S^2})^2} \quad (35)$$

Обчислюючи інтеграл методом трапеції, знаходимо:

$$f(S) = \int_0^1 f(S) dS = \frac{1-0}{20} \left(\frac{y_0+y_{20}}{2} + y_1 + \dots + y_{19} \right) = 78,0 \quad (36)$$

Підстановка конструктивних параметрів аеродинамічної пластини і значення коефіцієнта втрат на вході $k_\mu = 1,984$ у рівняння (4.33) приводить їх до наступного вигляду:

$$v_0^2(1,984 + 25\lambda) = (0,996v_0 + 1250Q_c)^2 \cdot (\alpha_1 - 0,019 - 15,86\lambda), \quad (37)$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}; \quad (38)$$

$$Re = 1103,4(0,996v_0 + 1250Q_c); \quad \alpha_1 = \frac{0,996v_0^3 + 1250\left(\frac{Q_c}{S_c}\right)^3}{(0,996v_0 + 1250\frac{Q_c}{S_c})^3}. \quad (39)$$

Підставляючи в ліву частину рівняння (37) значення для коефіцієнту втрат на тертя λ (38) і Re (39), отримуємо залежність швидкості потоку від витрати повітря із сопла:

$$f(v_0, Q_c) = v_0^2 \left(1,984 + \frac{1,375}{\sqrt[4]{0,996v_0 + 1250Q_c}} \right). \quad (40)$$

Визначаємо коріння квадратного рівняння (40) методом хорд. Якщо $[A, B]$ – відрізок, що містить корінь $A=2$, $B=3$ для перших трьох значень та $A=3$, $B=4$ для останнього значення, то наближення до кореня визначається за формулою:

$$\tilde{v}_0 = A + (B - A) * \frac{f(A_0, Q_c)}{f(A_0, Q_c) - f(B_0, Q_c)} \quad (41)$$

У таблиці 1 наведено значення коренів функції $f(v_0, Q_c)$ обчислені за формулою (41), а також розраховані значення v_1 , α_1 і числа Рейнольдса Re за формулами (38)... (40).

З формул (29), (27) визначаємо перепад тиску в перерізах S_0 (враховуючи лише втрати на вхід), S_1 та S_4 аеродинамічної пластини. Обчислені значення зведено у таблиці 2.

Таблиця 1.

$Q_c \cdot 10^5, \text{м}^3/\text{с}$	v_0	f	v_1	α_1	Re
8.33	2,29	0,005	2,385	6,29	2300
9.17	2,54	0,04	2,644	6,17	2918
9.72	2,71	0,07	2,811	6,13	3100
13.89	3,91	0,08	4,058	5,45	4478

Таблиця 2.

$Q_c \cdot 10^5, \text{м}^3/\text{с}$	$0(S_0)$	$0,1(S_1)$	$0,33(S_4)$
8.33	0,636	1,002	0,024
9.17	0,783	1,208	0,052
9.72	0,885	1,358	0,065
13.89	1,846	2,745	0,194

Вважаючи, що перепад тисків на ділянках $S_0 \div S_1$, $S_1 \div S_4$, $S_4 \div S_5$ змінюється за лінійним законом, визначимо залежність тиску для довільного перерізу:

$$\Delta p(y) = \begin{cases} a_0 y + b_0; & y \in [0; 0,1]; \\ a_0 y + b_0; & y \in [0,1; 0,33]; \\ a_0 y + b_0; & y \in [0,33; 0,38]. \end{cases} \quad (42)$$

Тут коефіцієнти $a_0 \div a_2$ і $b_0 \div b_2$ залежать від Q_c та визначаються за обчисленими значеннями перепаду тисків з таблиці 2. Результати розрахунку наведено у таблиці 3. Повний перепад тисків і, отже, повну силу, що підсмоктує, для сталого випадку визначаємо за формулою:

$$F_{ст} = k2a \int_0^{L+R_k} \Delta p(y) dy, \tag{43}$$

де $k=10$ – кількість сопел аеродинамічної пластини.

Обчислюючи за формулою (43) знаходимо:

$$F_{ст} = \left(\frac{a_0 y^2}{2} + b_0 y \right) \Big|_{y=0}^{0.1} + \left(\frac{a_1 y^2}{2} + b_1 y \right) \Big|_{y=0.1}^{0.33} + \left(\frac{a_2 y^2}{2} + b_2 y \right) \Big|_{0.33}^{0.38} \tag{44}$$

і наводимо в таблиці 4 значення сили, що підсмоктує деталі крою з текстилю, залежно від повної витрати повітря, що видується з сопел аеродинамічного захоплювача деталей кроюзтекстилю.

Таблиця 3.

$Q_c \cdot 10^5, \text{м}^3/\text{с}$	a_0	b_0	a_1	b_1	a_2	b_2
8.33	3,66	0,636	-4,25	1,43	-0,48	0,18
9.17	4,25	0,728	5,03	1,71	-1,04	0,39
9.72	4,73	0,895	-5,62	1,92	-1,30	1,19
13.89	8,99	1,846	-11,10	3,81	-3,88	1,47

Таблиця 4.

$Q_c \cdot 10^5, \text{м}^3/\text{с}$	8.33	9.17	9.72	13.89
$F_{ст}, \text{даН}$	0,296	0,437	0,490	0,996

Висновки

1. Розроблено математична модель (34) аеродинамічного захоплювача деталей крою з текстилю зі стосу для автоматизованого завантаження швейних машин
2. Виконано чисельний розрахунок стаціонарної підсмоктувальної сили при поштучному відокремленні текстильних деталей крою зі стосу аеродинамічним захоплювачем (таблиці 1...4).
3. Розроблено метод розрахунку стаціонарної підсмоктуємої сили аеродинамічного захоплювача швейного маніпулятора за результатами обчислень, заснованих на використанні математичної моделі (34) дозволяє вважати, що рівняння за якими виконано розрахунок $F_{ст}$ достовірно описують вивчений робочий процес при прийнятих обмеженнях та ідеалізації робочої середовища для поштучного відділення зі стопи деталей крою з текстилю.

Література

1. Піскорський Г.А. Дослідження процесів автоматичного завантаження взуттєвих машин: дис... докт. техн. наук. 05.02.13. / Георгій Августинович Піскорський. - МТІЛП, 1971. - 296 с.
2. Вахновський С.С. Дослідження гравітаційних живильників магазинних завантажувальних пристроїв взуттєвих машин: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.13. -Київ, КТІЛП. - 1966. - 20 с..
- 3.Тонковід Л. А. Дослідження процесу автоматичного орієнтування плоских деталей взуття при їх завантаженні в технологічні машини: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 Машини, апарати і процеси (по галузям) / Л. А. Тонковид. - Київ, 1967.-21 с.
4. Семініхіна Л. Ф. Визначення оптичних параметрів для контролю положення взуттєвих деталей за властивостями поверхні: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» /Л. Ф. Семініхіна. - Київ, 1967.-20 с.
5. Емець П.М. Дослідження деяких факторів, що впливають на процес автоматичного подавання взуттєвих деталей: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / П.М. - Емець.- Київ, 1969.-20 с.
6. Поліщук В.М. Дослідження процесу поштучного відділення плоских деталей взуття у вібраційних магазинних завантажувальних пристроях: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / В.М.. Поліщук В.М.. - Київ, 1971. - 21 с.
7. Петросюк М.І. Дослідження пневмоімпульсних лотків для легкої промисловості: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / М. І. Петросюк. - Київ, 1972. - 20 с. / Науковий керівник Піскорський
8. Кім В. Б. Дослідження бункерного завантажувального пристрою для передачі взуттєвої фурнітури на позицію складання: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / В.Б. Кім. - Київ, 1973.-20 с.
9. Шершнев В.М. Дослідження процесу вібротранспортування в режимах з відривом плоских деталей виробів легкої промисловості: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» /В. М. Шершнев. - Київ, 1974. - 20 с.
10. Ясько М. І. Дослідження гравітаційного стапелювання плоских деталей низу взуття: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / М. І. Ясько. - Київ, 1975. - 20 с.
11. Луканіна Т.Г. Дослідження процесу пневмотранспортування плоских деталей в легкій промисловості: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / Т.Г.Луканіна. - Київ, 1975. - 20 с.
12. Кулбасов Г.Ж. Дослідження процесу переміщення плоских деталей взуття при завантаженні їх на складальну позицію: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)». - Київ, 1975. - 20 с.

13. Янкін Л.М. Дослідження завантажувального пристрою з роторним шибером плоских деталей низу взуття: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / Л.М. Янкін. - Київ, 1977. - 20 с.
14. Буянтуев А.Б. Розробка пристроїв поштучного відокремлення плоских деталей взуття в робото технічних комплексах: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / А.Б. Буянтуев. - Київ, 1984. - 20 с.
15. Кармаліта А.К. Створення пристроїв для контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / А.К. Кармаліта. - Київ, 1985. - 20 с.
16. Бусуйок І. П. Універсальний пристрій потокового автоматичного орієнтування плоских деталей виробів легкої промисловості: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 . - Київ, 1987. - 20 с.
17. Вигурский Лешек. Розробка захватів для м'яких шкір: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / Л. Вигурский. - Київ, 1988. - 21 с.
18. Реалісон Гі Людовик Дослідження процесу відділення легких деталей заготовок верху взуття із стопи: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / Г.Л. Реалісон. - Київ, 1989. - 21 с.
19. Драпак Г.М. Автоматизація потокової збірки плоских заготовок верху взуття: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.13 «Машини, апарати і процеси (по галузям)» / Г.М. Драпак . - Київ, 1990. - 20 с.
20. Онофрійчук В. І. Удосконалення пристроїв поштучного відокремлення деталей верху взуття Автоматизація потокової збірки плоских заготовок верху взуття: дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.10 «Машини легкої промисловості» . - Київ, 2013. - 157 с.
21. Поповіченко С. А. Розробка модуля завантажувального пристрою взуттєвих машин: дис. канд. техн. наук. 05.05.10. – Київ: КНУТД. – 2016. – 174 с.
22. Орловський Б. В. Об'єктно-орієнтований аналіз і синтез циклового програмного керування автоматизованим завантажувальним пристроєм взуттєвих машин / Б. В. Орловський, С. А. Поповіченко // - Вісник Хмельницького національного університету – 2013. – №3. – С.182-189.
23. Four Novel Approaches to Manipulating Fabric using Model-Free and Model-Based Deep Learning in Simulatio. URL: <https://bair.berkeley.edu/blog/2020/05/05/fabrics/>
24. Clothing and Computer Vision | ResearchGate, the professional network for scientists. URL: <https://www.researchgate.net/publication/249649183>
25. Computer Vision in Fashion Trend Analysis and Applications. URL: https://www.researchgate.net/publication/374380943_The_power_of_computer_vision_A_critical_analysis
26. A manipulator robot grasping several pieces of cloth using different gripper. URL: <https://www.researchgate.net/figure/265151976>
27. Чотири нові підходи до маніпулювання деталями з текстилю за допомогою глибокого навчання без моделі та на основі моделі в симуляції. URL: <https://bair.berkeley.edu/blog/2020/05/05/fabrics/>
28. Adhesive Pillar Based Air Levitation System for Contactless Manipulation of Fine Objects. URL: <https://www.researchgate.net/publication/283003285>
29. Vision based robotic grasping from object localization object pose estimation to grasp estimation for parallel grippers a review. URL: <https://www.researchgate.net/publication/343697812>
30. Пищиков В. О. Проектування швейних машин / В. О. Пищиков, Б. В. Орловський Навчальний посібник для ВНЗ – К.: Видавниче–поліграфічний дім «Формат». – 2007. – 320 с.
31. Орловський Б. В. Порівняльний аналіз функціонально–адекватних захватів маніпуляторів завантаження швейних машин деталями крою з текстилю/ Б. В. Орловський, М. В. Місяць. – Технології та інжиніринг. – Київ: КНУТД, № 2, 2022. – с. 31–45.
32. Орловський Б. В. Параметричний аналіз і синтез вибору захватів маніпуляторів деталей крою з текстилю / Б. В. Орловський, М. В. Місяць. – XII міжнародна науково–практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1 . – с.209–212. – 26 – 27 травня 2022 р. – Чернігівська політехніка.
33. Орловський Б.В., Місяць М.В. Розробка мехатронних ежекторних модулів захвату маніпулятора деталей крою з текстилю зі стосу для завантаження швейних машин //Мехатронні системи: інновації та інжиніринг. Тези доповідей V міжнародної науково–практичної конференції MSIE 2023. – Київ: КНУТД, 2023. – с.57-58
34. Орловський Б.В. Аеродинамічний захват маніпулятора деталей крою з текстилю / Б. В. Орловський, М. В. Місяць. – XIII міжнародна науково–практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (КЗЯТПС_2023): Том 1, с.296–298. 25–26 травня 2023 р. – Національний університет «Чернігівська політехніка».
35. Орловський Б. В. Патент України на винахід №126711 Швейна машина із захватом маніпулятора деталей крою швейних виробів. МПК (2022.01) B65H 3/00; B65H 1/04 (2006.01); B65H 5/00; D06H 7/00; /Б. В. Орловський, М. В. Місяць. – Номер заявки: а 2020 07683; Дата подання заявки: 03.12.2020; Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня: 11.01.2023, Бюл. № 2.

References

1. Piskors'kyu H.A. Doslidzhennya protsesiv avtomatichnoho zavantazhennya vzuttyevykh mashyn: dys... dokt. tekhn. nauk. 05.02.13. / Heorhiy Avhustynovych Piskors'kyu. - MTILP, 1971. - 296 s.
2. Vakhnovs'kyu S.S. Doslidzhennya hravitatsiynykh zhyvyly'nykiv mahazynnykh zavantazhuval'nykh prystroyiv vzuttyevykh mashyn: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 05.02.13. -Kyiv, KTILP. - 1966. - 20 s..
3. Tonkovid L. A. Doslidzhennya protsesu avtomatichnoho oriyentuvannya ploskykh detaley vzuttya pry yikh zavantazhenni v tekhnolohichni mashyny: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam) / L. A. Tonkovid. - Kyiv, 1967.-21 s.

4. Seminikhyna L. F. Vyznachennya optychnykh parametriv dlya kontrolyu polozhennya vztuttyevykh detaley za vlastyovostyamy poverkhni: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / L. F. Semynikhyna. - Kyiv, 1967.-20 s.
5. Emets' P.M. Doslidzhennya deyakyykh faktoriv, shcho vplyvayut' na protses avtomatychnoho podavannya vztuttyevykh detaley: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / P.M. - Emets'. - Kyiv, 1969.-20 s.
6. Polishchuk V.M. Doslidzhennya protsesu poshtuchoho viddilennya ploskykh detaley vztuttya u vibratsiynykh mahazynnykh zavantazhuval'nykh prystroyakh: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / V.M.. Polishchuk V.M.. - Kyiv, 1971. - 21 s.
7. Petrosyuk M.I. Doslidzhennya pnevmoiimpul'snykh lotkiv dlya lehkoyi promyslovosti: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / M. I. Petrosyuk. - Kyiv, 1972. - 20 s. / Naukovyy kerivnyk Piskors'kyy
8. Kim V. B. Doslidzhennya bunkernoho zavantazhuval'noho prystroyu dlya peredachi vztuttyevoyi furnitury na pozytsiyu skladannya: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / V.B. Kim. - Kyiv, 1973.-20 s.
9. Shershnev V.M. Doslidzhennya protsesu vibrotransportuvannya v rezhymakh z vidryvom ploskykh detaley vyrobiv lehkoyi promyslovosti: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / V. M. Shershnev. - Kyiv, 1974. - 20 s.
10. Yas'ko M. I. Doslidzhennya hravitatsiynoho stapelyuvannya ploskykh detaley nyzu vztuttya: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / M. I. Yas'ko. - Kyiv, 1975. - 20 s.
11. Lukanina T.H. Doslidzhennya protsesu pnevmotransportuvannya ploskykh detaley v lehkii promyslovosti: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / T.H.Lukanina. - Kyiv, 1975. - 20 s.
12. Kulbasov H.ZH. Doslidzhennya protsesu peremishchennya ploskykh detaley vztuttya pry zavantazhenni yikh na skladal'nu pozytsiyu: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / L.M. Yankin. - Kyiv, 1975. - 20 s.
15. Kritsberh YE.L. Doslidzhennya protsesu hravitatsiynoho oriyentuvannya ploskykh detaley nyzu vztuttya: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / YE.L. Kritsberh. - Kyiv, 1976. - 21 s.
13. Yankin L.M. Doslidzhennya zavantazhuval'noho prystroyu z rotornym shyberom ploskykh detaley nyzu vztuttya: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / L.M. Yankin. - Kyiv, 1977. - 20 s.
14. Buyantuev A.B. Rozrobka prystroyiv poshtuchoho vidokremlyennya ploskykh detaley vztuttya v roboto tekhnichnykh kompleksakh: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / A.B. Buyantuev. - Kyiv, 1984. - 20 s.
15. Karmalita A.K. Stvorennya prystroyiv dlya kontrolyu polozhennya ploskykh detaley vztuttya za vlastyovostyamy poverkhon': avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / A.K. Karmalita. - Kyiv, 1985. - 20 s.
16. Busuyok I. P. Universal'nyy prystroy potokovoho avtomatychnoho oriyentuvannya ploskykh detaley vyrobiv lehkoyi promyslovosti: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13. - Kyiv, 1987. - 20 s.
17. Vyhurskyy Leshek. Rozrobka zakhvativ dlya m"yahkykh shkir: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / L. Vyhurskyy. - Kyiv, 1988. - 21 s.
18. Realison Hi Lyudovyk Doslidzhennya protsesu viddilennya lehkyykh detaley zahotivok verkhv vztuttya iz stopy: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / H.L. Realison. - Kyiv, 1989. - 21 s.
19. Drapak H.M. Avtomatyzatsiya potokovoyi zbirky ploskykh zahotivok verkhv vztuttya: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 «Mashyny, aparaty i protsesy (po haluzyam)» / H.M. Drapak. - Kyiv, 1990. - 20 s.
20. Onofrychuk V. I. Udokonalennya prystroyiv poshtuchoho vidokremlyennya detaley verkhv vztuttya Avtomatyzatsiya potokovoyi zbirky ploskykh zahotivok verkhv vztuttya: dys. na zdobuttya nauk, stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.10 «Mashyny lehkoyi promyslovosti». - Kyiv, 2013. - 157 s.
21. Popovichenko S. A. Rozrobka modulya zavantazhuval'noho prystroyu vztuttyevykh mashyn: dys. kand. tekhn. nauk. 05.05.10. - Kyiv: KNUTD. - 2016. - 174 s.
22. Orlovs'kyy B. V. Ob'yektno-oriyentovanyy analiz i syntezy tsyklovoho prohramnoho keruvannya avtomatyzovanykh zavantazhuval'nykh prystroyem vztuttyevykh mashyn / B. V. Orlovs'kyy, S. A. Popovichenko // - Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu - 2013. - №3. - S.182-189.
23. Four Novel Approaches to Manipulating Fabric using Model-Free and Model-Based Deep Learning in Simulatio. URL: <https://bair.berkeley.edu/blog/2020/05/05/fabrics/>
24. Clothing and Computer Vision | ResearchGate, the professional network for scientists. URL: <https://www.researchgate.net/publication/249649183>
25. Computer Vision in Fashion Trend Analysis and Applications. URL: https://www.researchgate.net/publication/374380943_The_power_of_computer_vision_A_critical_analysis
26. A manipulator robot grasping several pieces of cloth using different gripper. URL: <https://www.researchgate.net/figure/265151976>
27. Chotyyr novy pidkhody do manipulyuvannya detalyamy z tekstylyu za dopomohoyu hlybokoho navchannya bez modeli ta na osnovi modeli v symulyatsiyi. URL: <https://bair.berkeley.edu/blog/2020/05/05/fabrics/>
28. Adhesive Pillar Based Air Levitation System for Contactless Manipulation of FineObjects. URL: <https://www.researchgate.net/publication/283003285>
29. Vision based robotic grasping from object localization object pose estimation to grasp estimation for parallel grippers a review. URL: <https://www.researchgate.net/publication/343697812>
30. Pyshchikov V. O. Proektuvannya shveynykh mashyn / V. O. Pyshchikov, B. V. Orlovs'kyy Navchal'nyy posibnyk dlya VNZ - K.: Vydavnyche-polihrafichnyy dim «Format». - 2007. - 320 c.
31. Orlovs'kyy B. V. Porivnyal'nyy analiz funktsional'no-adekvatnykh zakhvativ manipulyatoriv zavantazhennya shveynykh mashyn detalyamy kroyu z tekstylyu / B. V. Orlovs'kyy, M. V. Misyats'. - Tekhnolohiyi ta inzhynirynh. - Kyiv: KNUTD, № 2, 2022. - s. 31-45.
32. Orlovs'kyy B. V. Parametrychnyy analiz i syntezy vyboru zakhvativ manipulyatoriv detaley kroyu z tekstylyu / B. V. Orlovs'kyy, M. V. Misyats'. - XII mizhnarodna nauko- praktychna konferentsiya «Kompleksne zabezpechennya yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system» Tom 1. - s.209-212. - 26 - 27 travnya 2022 r. - Chernihiv's'ka politekhnika.
33. Orlovs'kyy B.V., Misyats' M.V. Rozrobka mekhatronnykh ezhektornykh moduliv zakhvatu manipulyatora detaley kroyu z tekstylyu zi stosu dlya zavantazhennya shveynykh mashyn //Mekhatronni systemy: innovatsiyi ta inzhynirynh. Tezy dopovidey V mizhnarodnoyi nauko- praktychnoyi konferentsiyi MSIE 2023. - Kyiv: KNUTD, 2023. - s.57-58
34. Orlovs'kyy B.V. Aerodynamichnyy zakhvat manipulyatora detaley kroyu z tekstylyu / B. V. Orlovs'kyy, M. V. Misyats'. - XIII mizhnarodna nauko- praktychna konferentsiya «Kompleksne zabezpechennya yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system» (KZYATPS 2023): Tom 1, s.296-298. 25-26 travnya 2023 r. - Natsional'nyy universytet «Chernihiv's'ka politekhnika».
35. Orlovs'kyy B. V. Patent Ukrainy na vynakhid №126711 Shveyna mashyna iz zakhvatom manipulyatora detaley kroyu shveynykh vyrobiv. MPK (2022.01) B65H 3/00; B65H 1/04 (2006.01); B65H 5/00; D06H 7/00; /B. V. Orlovs'kyy, M. V. Misyats'. - Nomer zavavky: a 2020 07683; Data podannya zavavky: 03.12.2020; Data publikatsiyi vidomostey pro derzhavnu reyestratsiyu ta nomer Byuletenu:11.01.2023, Bul. No. 2.