

УДК 621.865.8:  
687.053

ОРЛОВСЬКИЙ Б. В., МІСЯЦЬ М. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНО-АДЕКВАТНИХ ЗАХВАТІВ МАНІПУЛЯТОРІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШВЕЙНИХ МАШИН ДЕТАЛЯМИ КРОЮ З ТЕКСТИЛЮ

**Мета.** Метою даного дослідження є розробка методу параметричного порівняльного аналізу функціонально адекватних захватів маніпуляторів для завантаження швейних машин деталями крою з текстилю.

**Методика.** Застосовано методику кореляційно-регресійного аналізу та експертні оцінки, що дозволяють кількісно обґрунтувати прийняття раціональних рішень на стадії проектування при розробці технічної пропозиції. Статистичний аналіз дозволяє уникнути жорстких вимог, що висуваються до системи переваг експертів у методі направленої вектора, що є аналогом статистичної моделі і має ряд переваг у порівнянні з широко відомим методом апріорного ранжування факторів.

**Результати.** Для порівняльного аналізу функціонально адекватних захоплень текстильних деталей крою модулів швейних маніпуляторів запропоновано узагальнений показник якості процесу поштучного відокремлення частин деталей від пачки залежно від кількох параметрів. Послідовне виключення несуттєвих параметрів та реструктуризація математичних моделей спростили моделі, в яких найважливіші параметри були залишені для розробки модулів захоплення маніпуляторів для роботизованого шиття та автоматизації швейних машин.

**Наукова новизна.** Виявлено основні закономірності та побудовано математичні моделі для запропонованого узагальненого показника якості процесу поштучного відділення деталей крою з текстилю від пачки залежно від кількох параметрів.

**Практична значимість.** Розроблено метод параметричного порівняльного аналізу функціонально адекватних захватів маніпуляторів для автоматичного завантаження швейних машин загального призначення деталями крою з текстилю.

**Ключові слова:** захоплення; модулі; швейний маніпулятор; К-моделі; деталі крою з текстилю.

**Вступ.** Проблема автоматизованого завантаження машин легкої промисловості на прикладах взуттєвих машин вивчалася на роботах професора Г.А. Піскорського [1] тайогоучнів [3–21]. Показано, що об'єднання в єдиному технологічному циклі магазинного 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 МОЗ з цикловою системою управління для взуттєвого технологічного обладнання розглянуті в роботі [2]. Матеріали, процеси та технологічне обладнання для виготовлення одягу з текстилю суттєво 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 0,3–0,4 кг/м<sup>2</sup>) та підвищену деформованість при маніпулюванні.

**Аналіз попередніх досліджень.** Для виробів з текстилю в роботах [22–25] на основі ПР 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. Для цього ПР оснащуються складними системами

технічного зору та штучного інтелекту для попереднього розпізнавання зім'ятих ділянок таких матеріалів для подальшого їх маніпулювання із застосуванням різних візуальних сенсорів. ПР використовують механічні 3х-пальцеві захвати з декількома ступенями рухливості та виконують програмні переміщення у просторі окремих ділянок або виробу з текстилю. Застосування таких ПР замість швейних маніпуляторів для автоматичного завантаження кожної швейної машини є економічно недоцільним.

**Постановка завдання.** Спочатку потрібнорозглянути етапи і топологію взаємодії пари «захват маніпулятора – деталь крою з текстилю» для поштучного відокремлення текстильних деталей та розкрити механізм процесу поштучного відокремлення текстильних деталей крою з МЗП. Основною задачею роботи є розробка методу параметричного порівнювального аналізу захватів технологічних модулів для створення робото-технологічних комплексів на основі автоматизованих швейних машин загального призначення. Результатом такого аналізу є побудова математичної моделі для з раціональною кількістюзначимих для проектування кількісних та якісних параметрів. Для порівнювального аналізу математичних моделей запропонувати узагальнений показник якості процесу відділення частин деталей від пачки в залежності від декількох параметрів. Побудувати математичні моделі множинної лінійної регресії для запропонованого узагальненого показника якості  $K_j$  захватів швейних маніпуляторів різної конструкції і принципу дії. Провести аналіз кількісних і якісних співвідношень між параметрами в математичних моделях і їх впливу на узагальнений показник якості

**Результати досліджень.** Для поштучного відокремлення текстильних деталей крою з МЗП, матеріал яких є діелектриком, неможливо використання магнітних захватів. З механічних та пневматичних захватів відомі різні контактні захвати для маніпуляторів з голками, цангами, кардолентами, липучками, пневматичними присмоктувачами та іншими робочими інструментами. При застосуванні контактних захватів відбувається механічне або пневматичне проникнення робочого інструменту або робочого середовища в ниткову пористу структуру деталі та захопленням та деформацією окремих ділянок деталі з текстилю. Недоліком таких захватів є деформація деталі та зміна її плоскої форми у об'ємну, а потім зворотне повернення з об'ємної форми у плоску. Для зменшення зміни плоскої форми деталі топологія точок захвату потребує використання багато інструментальних робочих органів захватів та їх реверсом в робочій зоні голки швейної машини для повернення зміненої форми деталі у плоску форму або попереднє закріплення деталі у п'яльцях.

Початковим етапом проектування та моделювання робото технологічних комплексів цільового призначення є розкриття механізму процесу поштучного відокремлення текстильних деталей крою з МЗП з наступним обґрунтованим вибором захватів з множини функціонально-адекватних захватів деталей 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 МЗП. Тому для гарантованого відокремлення тільки одної деталі з МЗП потрібно застосування додаткових програмних та апаратних пристроїв для поштучного відокремлення текстильних деталей крою з МЗП при автоматизованому завантаженні машин деталями крою з текстилю.

Для поштучного захвату текстильних деталей крою з МЗП обраний безконтактний захват з аеродинамічної пластиною [26], у якому робочим середовищем є розріджене вакуумне середовище, яке перекриває всю поверхню верхньої деталі робочого органу захвату, кінематичне з'єднаного з МЗП.

Для збереження плоско паралельності форми та плоско паралельного руху м'яких деталей крою при їх переміщення з позиції – точки А в позицію – точку Б по вертикалі (рис. 1) без механічної опори виникають деякі невідповідності. Для усунення невідповідності

вантажопідйомності силам зчеплення деталей крою з текстилю при поштучному їх відділенні з МЗП потрібно розкрити механізм безконтактного процесу для типових випадків перевищення сил зчеплення між м'якими деталями в стосі над силами ваги деталей з обмеженням на зміну плоскої форма.

Фізика механізму процесу маніпуляції плоскими деталями крою з текстилю зв'язаний з явищем *перколяції* (просмоктування робочого середовища скрізь пористий об'єкт) та явищем аеродинамічної тимчасовим *левітації*, яка утворюється потоком газу крізь пористу тканину (сітчаста структура) в противагу силі тяжіння у режимі переміщення по вертикалі пористого об'єкта малої маси при відокремленні з МЗП.

Механізм процесу поштучного відокремлення деталей з МЗП можна розкрити з використанням пошарової ілюстрації наведеної на рис. 1, де прийняти наступні позначення:

- шар подолання бар'єру I – це авангардна дія робочого середовища (рс) на ворс (об'єкт 1 – на рис.1 позначені крапками) ниток основи та кутка верхньої поверхні деталі до її присмоктування до робочого інструменту (PI). При цьому відбувається деформація і випрямлення хаотично зігнутих ворсинок на поверхні деталі та збільшення пористості об'єкту 1;

- шар подолання бар'єру II – це дія робочого середовища (РС) на структуру переплетення ниток основи та кутка тканини (об'єкт 2 – на рис.1 позначений відрізками ліній, що утворюють сітчасту структуру) для присмоктування до робочого інструменту;

- шар подолання бар'єру III – це дія робочого середовища (РС) на тіло деталі (об'єкт 3 – на рис.1 позначений об'єднанням об'єкту 1 та об'єкту 2 );

- шар подолання бар'єру IV – це послаблений стан дії робочого середовища при відсутності сил ваги відокремленої верхньої деталі після відокремлення об'єкту 3. Відбувається порушення зв'язків ворсу нижньої поверхні *i-1* деталі з ворсом верхньої поверхні *i-ої* деталі, тобто дія робочого середовища для подолання сили зчеплення ворсу між деталями.

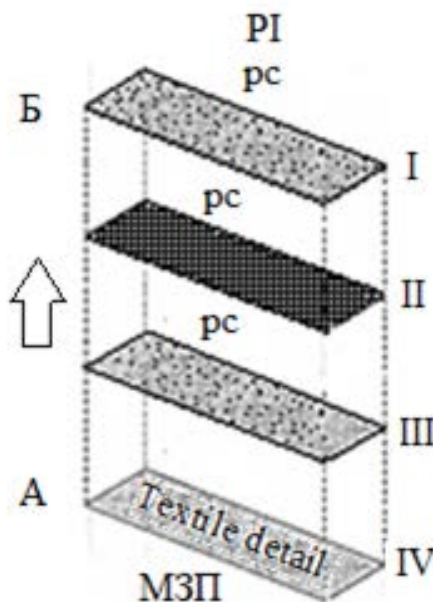


Рис. 1. Принципова схема якісного механізму процесу поштучного відокремлення деталей з МЗП: I–IV – шари подолання бар'єрів об'єктів взаємодії між собою та з робочим середовищем (рс) для утворення механіко-технологічної пари «робочий інструмент (PI) – деталь з текстилю (Textile detail)»

Таким чином, на силове поле при безконтактному аеродінамичному процесі відокремлення деталей крою з текстилю з МЗП впливає явище *перколяції* (бар'єри I та II), яке супроводжується станом левітації (бар'єр III).

Швейні машини з маніпулятором автоматичного завантаження деталями крою з текстилю переходять у клас РТК цільового призначення, якщо процес автоматизованого поштучного відділення текстильних деталей з пачки та завантаження складаються з наступних основних етапів циклу роботи швейного маніпулятора.

1 – контакт робочого інструменту або робочого середовища для захоплення верхньої ворсистості та повітропроникної поверхні «а» і-тої деталі немагнітного м'якого листового матеріалу, а саме контакт з деталлю крою;

2 – контактне або безконтактне проникнення робочого інструменту або робочого середовища всередину верхньої і-тої деталі;

3 – руйнування контакту взаємодії між нижньою ворсистістю поверхнею "в" і-тої деталі з верхньою ворсистістю поверхнею «а» і+1 деталі крою в пачці;

4 – частковий або повний поділ і-тої та і+1 деталей;

5 – переміщення і-тої деталі крою в зону голкової пластини та притискної лапки швейної машини

6 – розщеплення робочого інструменту (робочого середовища) з поверхнею «а» і-тої деталі в зоні голкової пластини та притискної лапки швейної машини для подальшої технологічної операції обметування краю на машинах типу overlock або пауза для повторення пунктів 1 ... 6 наступного циклу з деталлю і + 1 на машинах типу lockstitch.

Таким чином, етапи 1–6 циклу впливають із механізму процесу поштучного відділення деталей із пачки, як це показано на рис. 1.

Для спрощення вирішення науково-технічного завдання поштучного відділення плоских текстильних деталей з пачки та подальшого переміщення їх у робочу зону голкової пластини та притискної лапки швейної машини далі розглянуто топологію контакту для пари «захоплення швейного маніпулятора – деталь» для вибору раціонального захвату. При цьому слід підкреслити, що швейний маніпулятор працює з деталями, вирізаними з текстильного настилу, що утворюють пачку. Деталі в пачці розташовані паралельно поверхні, на якій розміщена пачка, а пом'ятості у вигляді вигнутих ділянок тканини не передбачені. Запропоноване для такого процесу захоплення деталей крою з текстилю не вимагатиме застосування складних засобів технічного зору для визначення глибини складок і пом'ятостей тканини або виробу з текстилю.

Потенційно можливі варіанти контакту робочих інструментів (робочого середовища) для захоплення верхньої «а» ворсистості та повітря-проникливої поверхні і-тої деталі немагнітного м'якого листового матеріалу в пачці для автоматизованого завантаження швейних машин наведено на рис. 2.

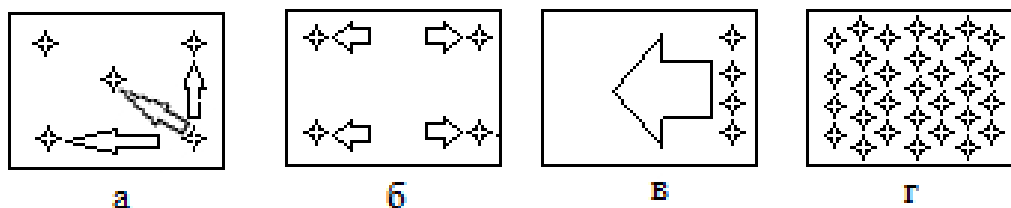


Рис. 2. Топологія контакту для пари «захоплення швейного маніпулятора – деталь»:  
а – дія робочого інструменту в одній, двох або трьох точках; б – одночасну дію робочим інструментом у чотирьох точках; в – дія робочого інструменту по лінії;  
г – дія робочого інструменту розподілені за площею

Для робочих інструментів механічної дії (голчастих, цангових, 3х-палих, застібки-липучки) потрібен процес розщеплення для реалізації етапу, що програмно реалізується із застосуванням додаткових технічних засобів та команд управління циклом 1–6.

Для робочих інструментів пневматичної дії (пневматичні присоски, аеродинамічна пластина) для реалізації етапу 6 задається програмована затримка (delay) подачі енергії живлення (вакууму та/або стисненого повітря) технічними засобами мехатроніки [27].

Для вибору та обґрунтування проектування раціонального робочого інструменту захватів швейного маніпулятора (ЗШМ) текстильних деталей крою з пачки для РТК виконано порівняльний аналіз функціонально адекватних захватів.

Для дослідження використано методику множинної лінійної кореляції для запропонованого узагальненого показника якості  $K_j$  (УПЯ) процесу поштучного відділення з пачки деталей крою з текстилю множини ЗШМ.

$K_j$  процесу поштучного відділення з пачки деталей крою з текстилю є інтегральною оцінкою за сукупністю приватних показників якості (ППЯ)  $x_i$  захватів швейних маніпуляторів, що мають кількісну та/або якісну оцінку та задовольняє наступним вимогам

- вимірюваності та однозначному кількісному (числовому) опису параметрів ППЯ  $x_i$ ;
- повноті обліку технічних, функціональних, технологічних та економічних ППЯ  $x_i$  в доцільному безлічі можливих їх поєднань між собою та з УПЯ  $K_j$ .

При кількісному характері ППЯ  $x_i$  оцінка значень УПЯ  $K_j$  може виконуватися на основі формалізованої аналітичної або імітаційної (аналогової або цифрової) моделей УПЯ  $K_j$ , що зв'язують структурні, кінематичні, динамічні, енергетичні або статистичні параметри конкретних захватів. Однак, оцінка значень  $K_j$  тільки по одному або двом ППЯ  $x_i$  або їх відношенню, навіть з використанням аналітичних моделей та їх вирішення, слід розглядати, як один з окремих випадків, пов'язаний з модернізацією існуючого технологічного обладнання та спрямованих, наприклад, на використання більш досконалого робочого інструменту ЗШМ.

При якісному характері ППЯ  $x_i$  оцінка значень УПЯ  $K_j$  може здійснюватися в балах, коефіцієнтах або рангах, які, у свою чергу, можуть бути пов'язаними з функціональною залежністю з режимами обробки або іншими параметрами, регламентованими ДСТУ, ISO-стандартами. При цьому як аналітична залежність часто використовується функція Едвіна-Харингтона. Якісна оцінка ППЯ  $x_i$  також може виконуватися експертними групами або значення ППЯ  $x_i$  можуть бути запозичені з аналізу прототипів або аналогів в опублікованих джерелах технічної, наукової або патентної літератури.

Алгоритм вирішення поставленого завдання, задовольняє більшості наведених вимог, виконується у наступні два етапи:

- виявлення суттєвих ППЯ  $x_i$  для порівняльного аналізу функціонально адекватних технічних об'єктів у вигляді ЗШМ (рис. 2), кінематичних схем механізмів (модулів) та різних способів реалізації робочих процесів у технологічних машинах;
- алгоритмізація і матричне представлення множини робочих інструментів модулів швейних маніпуляторів цільового призначення в просторі множини параметрів та виявлення сукупності раціональних ППЯ  $x_i$ , які за вимогами, що висувуються, краще інших.

Типи структур ЗШМ для функціонально-адекватного захоплення м'яких, плоских неметалевих, пористих текстильних деталей наведено на рис. 3.

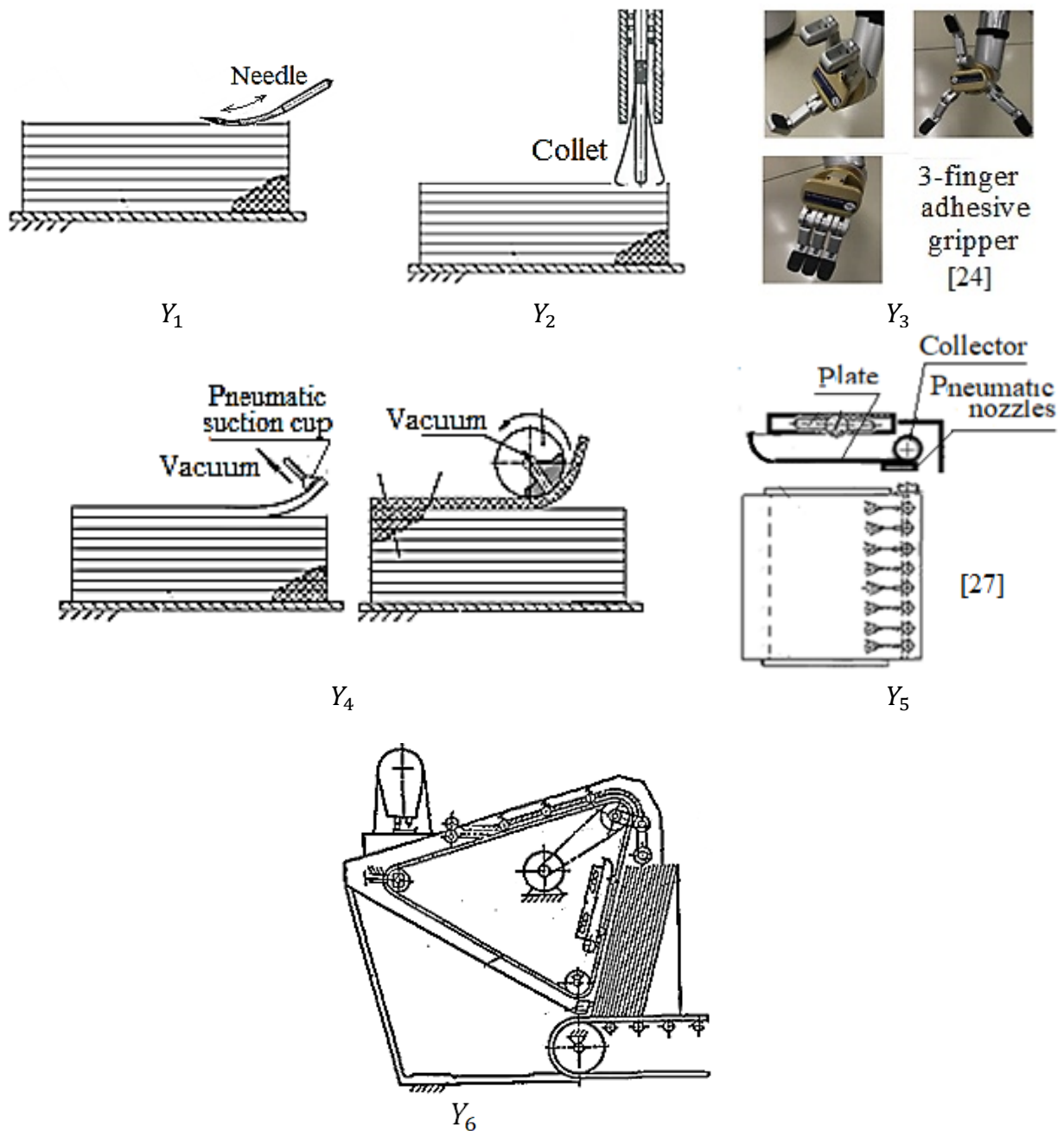


Рис. 3. Схеми функціонально-адекватних захватів швейних маніпуляторів деталей крою з текстилю

Для порівняльного аналізу ЗШМ (рис. 3) прийнято узагальнений показник якості  $K_j \forall K, K(j), j = (1 \dots 6)$  процесу поштучного відділення від пачки текстильних деталей крою

На рис. 3 функціонально-адекватні ЗШМ позначені наступними ідентифікаторами  $Y_j$ :

- $Y_1$  – голчастий захват (механічне захоплення);
- $Y_2$  – цанговий захват (механічне захоплення);
- $Y_3$  – 3х пальцеве адгезивний захват (хіміко-механічне захоплення);
- $Y_4$  – захват з пневматичними присосками (пневматичний захват);
- $Y_5$  – пластина аеродинамічна (аеродинамічний захват);

$Y_6$  – комбінований 2х-3х інструментальний захват.

Для побудови математичних моделей УПЯ  $K_j$  вхідними параметрами (змінними) функціонально-адекватних ЗШМ прийнято наступні параметри ППЯ  $x_i \forall x, x(i), i = (\overline{1 \dots 8})$  для поштучного відділення текстильних деталей крою з пачки :

$x_1 := 0.075 \dots 1.0$  – кількісний показник оцінки відношення площі перекриття робочим інструментом або робочим середовищем до площі поверхні деталі з текстилю, що відокремлюється з пачки;

$x_2 := 1.0 \dots 0, 0.5$  – якісний показник оцінки гарантованого відділення та утримання однієї деталі з текстилю з урахуванням сили інерції деталі під час її переміщення по осях  $OX$  та  $OZ$ ;

$x_3 := 1.0 \dots 0, 0.5$  – якісний показник оцінки типу траєкторії ЗШМ або характеру руху робочого середовища;

$x_4 := 0 \dots 1.5, 0.5$  – якісний показник оцінки способу взаємодії ЗШМ з деталлю крою з текстилю;

$x_5 := 1.0, 0$  – кількісний показник відношення коефіцієнта  $x_2$  до продуктивності швейної машини  $\left(\frac{x_2}{t_{\text{шм}}}\right)$ ;

$x_6 := 0 \dots 2.0, 1.0$  – кількісний показник продуктивності процесу поштучного відділення деталей при паралельному, послідовному та комбінованому способах контакту для пари «ЗШМ – деталь» (рис. 2);

$x_7 := 1.0, 0$  – кількісний показник наявності додаткових технічних засобів підвищення надійності поштучного відділення деталі з пачки;

$x_8 := 0, 3.0, 5.0$  – кількісний показник необхідності програмно керованих модулів переміщення деталей крою з текстилю в робочій зоні голкової пластини та притискної лапки швейної машини.

Для кількісного обґрунтування раціональних рішень на основі кореляційно-регресійного аналізу деякої сукупності можливих захватів швейних маніпуляторів і способів поштучного відділення з пачки деталей крою з текстилю побудовані локально-інтегральні моделі у вигляді рівняння лінійної (1) регресії:

$$K = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i. \quad (1)$$

Аналіз кореляційних зв'язків між обраними параметрами  $x_i$  виконаний на основі побудови квадратної симетричною кореляційної матриці  $\|a_{ij}\|$ , елементи якої  $a_{ij} \neq 0$  для  $i)j = j)i$  та  $a_{ij} = 1$  для  $i = j$  є коефіцієнтами  $r_{ij}$  парної кореляції (таблиця 1). Стовець матричного рівняння складається з коефіцієнтів  $r_{ij}$  парної кореляції між  $i$ -м параметром  $x_i$  і загальним показником якості  $K_e$ , прийнятим за базовий параметр і наданим незалежними експертами. Ці коефіцієнти є мірою лінійної залежності між  $K_j$  обраної (з урахуванням значущості коефіцієнтів рівняння регресії) сукупністю всіх параметрів, які залишилися після відсівання незначущих параметрів  $x_i$ , тобто є параметрами  $R_k$  множинної кореляції і обчислюються за формулою [28]:

$$R_k = R_{1(2\dots m)} = \sqrt{1 - \frac{|A|}{A_{II}}}, m = (1, M), \quad (2)$$

де  $|A|$  – визначник кореляційної матриці  $\|a_{ij}\|$ ;  
 $A_{II}$  – алгебраїчне доповнення елементів  $a_{ij}$ .

Питанням відбору значущих для моделі вхідних ознак (в зарубіжній літературі така проблема відома, як featureselection) вирішується шляхом скорочення незначущих параметрів після аналізу моделі і нового перерахунку моделі. Скорочення числа незалежних змінних покликане зменшити розмірність моделі не тільки з тим, щоб видалити з неї всі незначущі ознаки, що не несуть в собі якоїсь корисної для аналізу інформації, і тим самим спростити модель, але і щоб усунути надлишкові ознаки. Тобто відбувається послідовна побудова моделі на всіх можливих комбінаціях наборів вхідних ознак з подальшим відбором того варіанту, який володів би найкращою описовою здатністю результуючого ознаки і при цьому містив би мінімум незалежних змінних.

Уточнення моделей і оцінка похибок виконано на основі аналізу кореляційних зв'язків і послідовного відсіву по мінімальній величині  $r_{ij}$  слабо корельовані з  $K_e$  параметрів  $x_i$  для  $Y_j$  захватів маніпуляторів поштучного відділення з пачки деталей крою з текстилю.

Таблиця 1

**Матриця вихідних змінних та результати чисельних розрахунків К-моделей функціонально адекватних захватів маніпуляторів поштучного відокремлення з пачки деталей крою з текстилю**

Захвати швейного маніпулятора	Приватні показники якості $x_i$								
	$K_e$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$
$Y_1$	1.0	0.15	1.0	0	0.5	1.0	0	1.0	0
$Y_2$	0.8	0.075	1.0	0	0	0	0	1.0	0
$Y_3$	0.9	0.2	0.5	0	0	0	0	0	0
$Y_4$	0.5	0.125	0	0	0.5	0	0.5	1.0	0
$Y_5$	1.0	0.70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0
$Y_6$	1.1	1.0	1.0	0.5	1.5	1.0	2.0	1.0	3.0
Попарні коефіцієнти кореляції та елементи кореляційної матриці									
$r_{iK1}$	1.0	0.54	0.70	0.42	0.41	0.64	0.16	-0.03	0.44
$a_{i1}$	0.71	0.13	0.26	-0.02	0.04	0.13	-0.02	-0.07	-0.0009
$r_{iK2}$	1.0	0.54	0.70	0.42	0.41	0.64	0.16	-	0.44
$a_{i2}$	0.62	0.23	0.22	-0.03		0.11	-0.05	-	-0.001
$r_{iK3}$	1.0	0.54	0.70	0.42	0.41	0.64	-	-	0.44
$a_{i3}$	0.60	0.19	0.24	-0.03		0.12	-	-	-0.002
$r_{iK4}$	1.0	0.54	0.70	0.42	-	0.64	-	-	0.44
$a_{i4}$	0.60	0.15	0.25	-0.03	-	0.10	-	-	-0.004
$r_{iK5}$	1.0	0.54	0.70	-	-	0.64	-	-	0.44
$a_{i5}$	0.60	0.15	0.25	-	-	0.10	-	-	-0.008
$r_{iK6}$	1.0	0.54	0.70	-	-	0.64	-	-	-
$a_{i6}$	0.60	0.12	0.25	-	-	0.01	-	-	-

Так як значення коефіцієнтів множинної кореляції  $R_k$  знаходяться в діапазоні  $0.8 \leq R_k \leq 0.9$ , то можна стверджувати, що величина узагальненого показника якості  $K_j$  з використанням «К-моделей» розглянутої множини функціонально адекватних захватів швейних маніпуляторів, з ймовірністю близькою до «1» дорівнює лінійної комбінації параметрів  $x_i$  у відповідності з наступними отриманими моделями (3)–(8).

Таблиця 2

Коефіцієнти множинної кореляції  $R_k$  для моделей (3)–(8)

$R_1 = 0.8093$
$R_2 = 0.8195$
$R_3 = 0.8129$
$R_4 = 0.8333$
$R_5 = 0.8267$
$R_6 = 0.8682$

$$K1 = 0.7172 + 0.1281 x1 + 0.2565 x2 - 0.0239 x3 + 0.0393 x4 + 0.1336 x5 - 0.0198 x6 - 0.1736 x7 - 0.009 x8. \quad (3)$$

Після першого перерахунку для уточнення моделі  $K1$  і відсіву слабо корельованого з моделлю  $K1$  фактора  $x7$  отримана наступна розрахункова модель (4):

$$K2 = 0.6234 + 0.2298 x1 + 0.2162 x2 - 0.0335 x3 - 0.0019 x4 + 0.1112 x5 - 0.0520 x6 - 0.0013 x8. \quad (4)$$

Після наступного перерахунку для уточнення моделі  $K2$  і відсіву слабо корельованого з моделлю  $K2$  фактора  $x8$  отримана наступна розрахункова модель (5):

$$K3 = 0.6077 + 0.1877 x1 + 0.2565 x2 - 0.0239 x3 - 0.0393 x4 + 0.1207 x5 - 0.0024 x8. \quad (5)$$

Після наступного перерахунку для уточнення моделі  $K3$  і відсіву слабо корельованого з моделлю  $K3$  фактора  $x4$  отримана наступна розрахункова модель (6):

$$K4 = 0.5978 + 0.1534 x1 + 0.2508 x2 - 0.0319 x3 - 0.1022 x5 - 0.0036 x8. \quad (6)$$

Після наступного перерахунку для уточнення моделі  $K4$  і відсіву слабо корельованого з моделлю  $K4$  фактора  $x3$  отримана наступна розрахункова модель (7):

$$K5 = 0.5986 + 0.1382 x1 + 0.2502 x2 + 0.1013 x5 - 0.0080 x8. \quad (7)$$

Після наступного перерахунку для уточнення моделі  $K5$  і відсіву слабо корельованого з моделлю  $K5$  фактора  $x8$  отримана наступна розрахункова модель (8):

$$K6 = 0.6026 + 0.1224 x1 + 0.2480 x2 + 0.0957 x5. \quad (8)$$

Розраховані значення узагальненого показника якості  $K_j$ , для шості функціонально адекватних захватів маніпуляторів поштучного відокремлення з пачки деталей крою з текстилю наведені в таблиці 2

Таблиця 3

Результати чисельних розрахунків значення  $K_j$  по моделям (3)–(8)

$K_j$ для захватів $Y_1 \dots Y_6$	$K_e$	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Y1	1.0	0.9725	0.9842	0.9746	0.9745	0.9724	0.9646
Y2	0.8	0.8097	0.8568	0.8616	0.8601	0.8599	0.8598
Y3	0.9	0.8711	0.7774	0.7652	0.7539	0.7533	0.7511
Y4	0.5	0.5594	0.5991	0.6094	0.6170	0.6171	0.6179
Y5	1.0	1.0210	1.0290	1.0220	1.0170	1.0210	1.0210
Y6	1.1	1.0660	1.0530	1.0670	1.0780	1.0750	1.0690

Обираємо отриману К-модель (8), у якій залишилося наступні два кількісних і один якісний приватні показники якості поштучного відокремлення деталей крою з текстилю:  $x_1$  – кількісний показник відношення площі перекриття робочим інструментом або робочим середовищем площі поверхні деталі з текстилю, що відокремлюється з пачки;  $x_2$  – якісний показник гарантованого відділення та утримання однієї деталі з текстилю з урахуванням сили інерції деталі під час її переміщення по осях  $OX$  та  $OZ$ ;  $x_5$  – кількісний показник відношення коефіцієнта  $x_2$  до продуктивності швейної машини  $\left(\frac{x_2}{t_{\text{ШМ}}}\right)$ . Цім вимогам відповідає безконтактний аеродинамічний захват  $Y_5$ .

Продуктивність маніпулятора з обраним захватом – аеродинамічною пластиною на етапі завантаження деталей крою повинна бути програмно узгоджена з часом робочого циклу технологічної машини згідно з наступною умовою:

$$t_3(t_{\text{пв}}, t_{\text{ор}}, t_{\text{п}})t_{\text{ШМ}}(n, T, t_{\text{д}}), \quad (9)$$

де  $t_3$  – час завантаження ШМ;

$t_{\text{пв}}$  – час поштучного відокремлення, який складається з часу фази роз'єднання ворсу зчеплених волокон  $i$ - $o$ ї та  $i$ - $l$  поверхень деталей в стосі, з часу фази польоту та левітації у «м'якому вакуумі» та часу фази прилипання текстильної деталі до захвату маніпулятора;

$t_{\text{ор}}$  – час на орієнтацію деталі на захваті маніпулятора;

$t_{\text{п}}$  – час на подачу деталі в робочу зону голкової пластини ШМ;

$t_{\text{ШМ}}$  – основний час утворювання  $j$ - $ого$  числа стібків на ділянках ниткового шва на ШМ;

$n$  – частота обертання головного валу ШМ;

$T$  – тип технологічної операції, яка виконується на ШМ;

$t_{\text{д}} = \sum_{k=1}^5 t_k$  – допоміжний час циклу роботи ШМ, де  $t_1$  – час на зупинення головного валу з голкою у крайньому верхньому положенні;  $t_2$  – час роботи механізму обрізки ниток;  $t_3$  – час на переміщення притискної лапки вверх;  $t_4$  – час на відключення регулятора натягу голкової нитки;  $t_5$  – час на звільнення робочої зони голкової пластини для початку наступного циклу шиття.

### Висновки:

1. Підкреслено, що пачка деталей крою з текстилю попередньо вже утворена з допомогою настільного і розкрійного технологічного устаткування і тому деталі у пачці перебувають у орієнтованому положенні в МЗП. Захвати маніпуляторів поштучного відділення з пачки деталей крою з текстилю є обов'язковою складовою робото технологічних швейних комплексів.

2. Виконано обґрунтований та раціональний вибір з безлічі відомих та потенційно можливих захватів швейних маніпуляторів для поштучного відділення з пачки текстильних деталей крою при автоматизованому завантаженні швейних машин без використання промислових роботів загального призначення. Робота присвячена основній проблемі автоматизації завантаження швейних машин деталями крою з текстилю.

3. Побудовано математичні моделі (3–8) для запропонованого узагальненого показника якості  $K_j$ .

4. Виявлені закономірності кількісних та якісних залежностей  $K_j$  від приватних показників-параметрів для обґрунтованого вибору модуля захоплення з аеродинамічною пластиною модуля швейного маніпулятора для роботизації процесу шиття на швейних машинах при масовому виготовленні одягу, взуття та інших виробів із текстилю.

## References

1. Piskorskii, G. A. (1971). Issledovanie protsessov avtomaticheskogo skachivaniia obuvnykh mashin: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.02.13 [Research on the processes of automatic downloading of shoe machines: thesis of a doctor of technical sciences: a specialty 05.02.13]. Moscow. 296 p. [in Russian].
2. Orlovskiy, B. V., Popovychenko, C. A. (2013). Obiektno-orientovanyi analiz i sintez tsyklovoho prohrannoho keruvannia avtomatyzovanim zavantazhuvalnym prystroiem vzuttievykh mashyn [Object-oriented analysis and synthesis of cyclic software control of an automated boot device of shoe machines]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu = Bulletin of Khmelnytsky National University*, № 3, P. 182–189 [in Ukrainian].
3. Vakhnovskiy, S. S. (1966). Doslidzhennia hravitatsiinykh zhyvylnykyv mahazynnykh zavantazhuvalnykh prystroiv vzuttievykh mashyn: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Research of gravitational feeders of shop loading devices of shoe machines: the abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
4. Tonkovid L. A. Doslidzhennia protsesu avtomatychnoho oriyentuvannia ploskykh detalei vzuttia pry yikh zavantazhenni v tekhnolohichni mashyny: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam). Kyiv, 1967. 21 s. [in Ukrainian].
5. Seminikhyna, L. F. (1967). Vyznachennia optychnykh parametriv dlia kontroliu polozhennia vzuttievykh detalei za vlastyivostiamy poverkhni: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Determination of optical parameters for control of position of footwear details on surface properties: the abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
6. Emets, P. M. (1969). Doslidzhennia deiakykh faktoriv, shcho vplyvaiut na protses avtomatychnoho podavannia vzuttievykh detalei: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Research of some factors influencing process of automatic giving of footwear details: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
7. Polishchuk, V. M. (1971). Doslidzhennia protsesu poshtuchoho viddilennia ploskykh detalei vzuttia u vibratsiinykh mahazynnykh zavantazhuvalnykh prystroiakh: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam)

## Література

1. Пискорский Г. А. Исследование процессов автоматического скачивания обувных машин: дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.02.13. МТИЛП. М., 1971. 296 с.
2. Орловський Б. В., Поповиченко С. А. Об'єктно-орієнтований аналіз і синтез циклового програмного керування автоматизованим завантажувальним пристроєм взуттєвих машин. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2013. № 3. С. 182–189.
3. Вахновський С. С. Дослідження гравітаційних живильників магазинних завантажувальних пристроїв взуттєвих машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, aparaty i protsesy (po galuzyam). Київ, 1966. 20 с.
4. 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 – Машины, aparaty i protsesy (po galuzyam). Київ, 1967. 21 с.
5. Семініхіна Л. Ф. Визначення оптичних параметрів для контролю положення взуттєвих деталей за властивостями поверхні: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, aparaty i protsesy (po galuzyam). Київ, 1967. 20 с.
6. Емец П. М. Дослідження деяких факторів, що впливають на процес автоматичного подавання взуттєвих деталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, aparaty i protsesy (po galuzyam). Київ, 1969. 20 с.
7. Поліщук В. М. Дослідження процесу поштучного відділення плоских деталей взуття у вібраційних магазинних завантажувальних пристроях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 –

- [Research of process of piece separation of flat details of footwear in vibrating shop loading devices: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 21 p. [in Ukrainian].
8. Petrosiuk, M. I. (1972). Doslidzhennia pnevmoimpul'snykh lotkiv dlia lehkoï promyslovosti: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Research of pneumopulse trays for light industry: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
9. Kim, V. B. (1973). Doslidzhennia bunkernoho zavantazhuval'nogo prystroiu dlia peredachi vzuttievoi furnitury na pozytsiiu skladannia: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Research of the bunker loading device for transfer of footwear accessories to the assembly position: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
10. Shershnev, V. M. (1974). Doslidzhennia protsesu vibrotransportuvannia v rezhymakh z vidryvom ploskykh detalei vyrobiv lehkoï promyslovosti: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Research of the process of vibrotransportation in modes with separation of flat parts of light industry products: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
11. Yasko, M. I. (1975). Doslidzhennia hравитатсионного stapeliuvannia ploskykh detalei nyzu vzuttia: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Investigation of gravity stacking of flat parts of shoe bottoms: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
12. Lukanina, T. H. (1975). Doslidzhennia protsesu pnevmotransportuvannia ploskykh detalei v lehkoï promyslovosti: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Research of the process of pneumatic transportation of flat parts in light industry: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
13. Kulbasov, H. Zh. (1975). Doslidzhennia protsesu peremishchennia ploskykh detalei vzuttia pry zavantazhenni yikh na skladalnu pozytsiiu: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po
- Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1971. 21 с.
8. Петросюк М. І. Дослідження пневмоімпульсних лотків для легкої промисловості: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1972. 20 с.
9. Кім В. Б. Дослідження бункерного завантажувального пристрою для передачі взуттєвої фурнітури на позицію складання: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1973. 20 с.
10. Шершнеv В. М. Дослідження процесу вібротранспортування в режимах з відривом плоских деталей виробів легкої промисловості: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1974. 20 с.
11. Ясько М. І. Дослідження гравітаційного stapелювання плоских деталей низу взуття: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1975. 20 с.
12. Луканіна Т. Г. Дослідження процесу пневмотранспортування плоских деталей в легкої промисловості: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1975. 20 с.
13. Кулбасов Г. Ж. Дослідження процесу переміщення плоских деталей взуття при завантаженні їх на складальну позицію: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец.

- haluziam) [Research of process of movement of flat details of footwear at their loading on assembly position: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
14. Kritisberh, Ye. L. (1976). Doslidzhennia protsesu hravitatsiinoho orientuvannia ploskykh detalei nyzu vzuttia: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Research of process of gravitational orientation of flat details of a bottom of footwear: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 21 p. [in Ukrainian].
15. Yankin, L. M. (1977). Doslidzhennia zavantazhuvalnoho prystroiu z rotornym shyberom ploskykh detalei nyzu vzuttia: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Research of the loading device with a rotary gate of flat details of a footwear bottom: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
16. Polomoshnykh, S. A. (1978). Yssledovanye poshtuchnoho otdeleniyaznakopyteliamiahkykh ploskykh detalei verkha obuvy: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Study of the piece compartment of the storage of soft flat parts of the shoe upper: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
17. Buiantuev, A. B. (1984). Rozrobka prystroiv poshtuchnoho vidokremлення ploskykh detalei vzuttia v roboto tekhnichnykh kompleksakh: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Development of devices of piece separation of flat details of footwear in robot technical complexes: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
18. Karmalita, A. K. (1985). Stvorennia prystroiv dlia kontroliu polozhennia ploskykh detalei vzuttia za vlastyvoistyamy poverkhon: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Creation of devices for control of position of flat details of footwear on properties of surfaces: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
19. Busuiok, I. P. (1987). Universalnyi prystrii potokovoho avtomatychnoho orientuvannia ploskykh detalei vyrobiv lehkoj promyslovosti: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Universal device for streaming automatic orientation of
- 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1975. 20 с.
14. Кріцберг Є. Л. Дослідження процесу гравітаційного орієнтування плоских деталей низу взуття: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1976. 21 с.
15. Янкін Л. М. Дослідження завантажувального пристрою з роторним шибером плоских деталей низу взуття: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1977. 20 с.
16. Поломошних С. А. Исследование поштучного отделениязнакопителеймягких плоских деталей верха обуви: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1978. 20 с.
17. Буянтуев А. Б. Розробка пристроїв поштучного відокремлення плоских деталей взуття в роботу технічних комплексів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1984. 20 с.
18. Кармаліта А. К. Створення пристроїв для контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, аппараты і процеси (по галузям). Київ, 1985. 20 с.
19. Бусуйок І. П. Універсальний пристрій потокового автоматичного орієнтування плоских деталей виробів легкої промисловості: автореф. дис. ... канд. техн.

- flat parts of light industry products: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 20 p. [in Ukrainian].
20. Vyhurskyi, L. (1988). Rozrobka zakhvativ dlia m'iahkykh shkir: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Development of soft skin grips: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 21 p. [in Ukrainian].
21. Realison, H. L. (1989). Doslidzhennia protsesu viddilennia lehkykh detalei zahotivok verkhу vzuttia iz stopy: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Study of the process of separation of light parts of the workpieces of the upper of the shoe from the foot: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv. 21 s. [in Ukrainian].
22. Drapak, H. M. (1990). Avtomatyzatsiia potokovoi zbirky ploskykh zahotivok verkhу vzuttia: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.13 – Mashyny, aparaty i protsesy (po haluziam) [Automation of flow assembly of flat blanks of shoe uppers: the author's abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: a specialty 05.02.13 – Machines, devices and processes (on branches)]. Kyiv, 1990. 20 s. [in Ukrainian].
23. Alenyà, G., Ramisa, A., Moreno-Noguer, F., Torras, C. (2022). Characterization of Textile Grasping Experiments. URL: <https://www.researchgate.net/publication/265151976> Characterization of Textile Grasping Experiment.
24. Türkmen, D., Koc, I., Sümer, B. (2015). Adhesive Pillar Based Air Levitation System for Contactless Manipulation of Fine Objects. *Procedia Engineering*. 120. 1124–1127. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.810. URL: <https://www.researchgate.net/publication/283003285> Adhesive Pillar Based Air Levitation System for Contactless Manipulation of Fine Objects.
25. Foresti, D., Klingauf, M., Ferrari, A., Poulidakos, D. (2013). Acoustophoretic contactless transport and handling of matter in air. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 110. DOI: 10.1073/pnas.1301860110. URL: <https://www.researchgate.net/publication/249649183> Acoustophoretic contactless transport and handling of matter in air.
26. Author's certificate № 776 975 (SU) Prystrii dlia podachi lystovoho materialu z pachky [Device for feeding
- наук: спец. 05.02.13 – Машины, апарати і процеси (по галузям). Київ, 1987. 20 с.
20. Вигурский Л. Розробка захватів для м'яких шкір: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, апарати і процеси (по галузям). Київ, 1988. 21 с.
21. Реалісон Г. Л. Дослідження процесу відділення легких деталей заготовок верху взуття із стопи: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, апарати і процеси (по галузям). Київ, 1989. 21 с.
22. Драпак Г. М. Автоматизація потокової збірки плоских заготовок верху взуття: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – Машины, апарати і процеси (по галузям). Київ, 1990. 20 с.
23. Alenyà, G., Ramisa, A., Moreno-Noguer, F., Torras, C. Characterization of Textile Grasping Experiments. 2022. URL: <https://www.researchgate.net/publication/265151976> Characterization of Textile Grasping Experiment.
24. Türkmen, D., Koc, I., Sümer, B. Adhesive Pillar Based Air Levitation System for Contactless Manipulation of Fine Objects. *Procedia Engineering*. 2015. No. 120. P. 1124–1127. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.810. URL: <https://www.researchgate.net/publication/283003285> Adhesive Pillar Based Air Levitation System for Contactless Manipulation of Fine Objects.
25. Foresti, D., Klingauf, M., Ferrari, A., Poulidakos, D. Acoustophoretic contactless transport and handling of matter in air. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2013. No. 110. DOI: 10.1073/pnas.1301860110. URL: <https://www.researchgate.net/publication/249649183> Acoustophoretic contactless transport and handling of matter in air.
26. Авторське свідоцтво № 776 975 (SU) Пристрій для подачі листового матеріалу з

sheet material from the pack], М. кл. В65Н 3/08. В. В. Орловський, Н. А. Клочков. Published on November 7, 1980. Bulletin № 41 [in Ukrainian].  
27. Orlovskiy, B. V. (2018). Mekhatronika v haluzevomu mashynobuduvanni [Mechatronics in the field of mechanical engineering]. Kyiv: KNUTD. 416 p. [in Ukrainian].  
28. Ohirko, O. I., Halaiko, N. V. (2017). Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka: navchalnyi posibnyk [Probability theory and mathematical statistics: a textbook.]. Lviv: LvDUVS. 292 p. [in Ukrainian].

пачки, М. кл. В65Н 3/08. Б. В. Орловський, Н. А. Клочков. Опубл. 07.11.1980. Бюл. № 41.  
27. Орловський Б. В. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні. К.: КНУТД, 2018. 416 с.  
28. Огірко О. І., Галайко Н. В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник. Львів: ЛьвДУВС, 2017. 292 с.

**ORLOVSKY BRONISLAV**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Mechanics and Machines, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-7422-6000>  
E-mail: [mlp-knutd@ukr.net](mailto:mlp-knutd@ukr.net)

**MESYATS MICHAEL**

Postgraduate student of the Department of Applied Mechanics and Machines, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
E-mail: [mischalke@i.ua](mailto:mischalke@i.ua)

**ОРЛОВСКИЙ Б. В., МЕСЯЦ М. В.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНО-АДЕКВАТНЫХ ЗАХВАТОВ МАНИПУЛЯТОРОВ ЗАГРУЗКИ ШВЕЙНЫХ МАШИН ДЕТАЛЯМИ КРОЯ С ТЕКСТИЛЯ**

**Цель.** Разработка метода параметрического сравнительного анализа функционально адекватных захватов манипуляторов для загрузки швейных машин деталями кроя из текстиля.

**Методика.** Применена методика корреляционно-регрессионного анализа и экспертные оценки, позволяющие количественно обосновать принятие рациональных решений на стадии проектирования при разработке технического предложения. Статистический анализ позволяет избежать жестких требований, предъявляемых к системе преимуществ экспертов в методе направленного вектора, что является аналогом статистической модели и имеет ряд преимуществ по сравнению с широко известным методом априорного ранжирования факторов.

**Результаты.** Для сравнительного анализа функционально адекватных захватов текстильных деталей кроя модулей швейных манипуляторов предложен обобщенный показатель качества процесса поштучного отделения частей деталей от пачки в зависимости от нескольких параметров. Последовательное исключение несущественных параметров и реструктуризация математических моделей упростили модели, в которых важнейшие параметры оставлены для разработки модулей захвата манипуляторов для роботизированного шитья и автоматизации швейных машин.

**Научная новизна.** Выявлены основные закономерности и построены математические модели для предложенного обобщенного показателя качества процесса поштучного отделения деталей кроя из текстиля от пачки в зависимости от нескольких параметров.

**Практическая значимость.** Разработан метод параметрического сравнительного анализа функционально адекватных захватов манипуляторов для автоматической загрузки швейных машин общего назначения деталями кроя из текстиля.

**Ключевые слова:** захваты; модули; швейный манипулятор; К-модели; детали кроя из текстиля.

ORLOVSKY B. V., MISIATS M. V.

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**COMPARATIVE ANALYSIS OF FUNCTIONALLY-ADEQUATE CAPTURES OF  
MANIPULATORS OF LOADING OF SEWING MACHINES BY TEXTILE CUTTING  
DETAILS**

**Purpose.** *Development of a method for parametric comparative analysis of functionally adequate grips of manipulators for loading sewing machines with textile cut details.*

**Methodology.** *The method of correlation-regression analysis and expert assessments are applied, which allow to quantitatively substantiate the adoption of rational decisions at the design stage when developing a technical proposal. Statistical analysis avoids the strict requirements imposed on the system of experts' advantages in the directed vector method, which is analogous to the statistical model and has a number of advantages over the well-known method of a priori ranking of factors.*

**Findings.** *For a comparative analysis of functionally adequate grips of textile parts cut modules of sewing manipulators, a generalized indicator of the quality of the process of piece-by-piece separation of parts from a pack is proposed, depending on several parameters. The successive elimination of non-essential parameters and the restructuring of mathematical models have simplified the models, in which the most important parameters are left for the development of manipulator grip modules for robotic sewing and sewing machine automation.*

**Originality.** *The main regularities are revealed and mathematical models are constructed for the proposed generalized indicator of the quality of the process of piece-by-piece separation of cut parts from textiles from a pack, depending on several parameters.*

**Practical value.** *A method has been developed for a parametric comparative analysis of functionally adequate manipulator grips for automatic loading of general-purpose sewing machines with textile cut parts.*

**Keywords:** *grippers; modules; sewing manipulator; K-models; textile cutting details.*