

DOI: <https://doi.org/10.32347/2221-9293.2020.17.5-29>

УДК 7.012: 687

Калина Лівіанівна Пашкевич,

доктор технічних наук, професор, професор кафедри ергономіки і дизайну

Київський національний університет технологій та дизайну

pashkevich.kl@knutd.com.ua

<https://orcid.org/0000-0001-6760-3728>

Олександр Андрійович Богушко,

кандидат технічних наук, професор,

Київський національний університет технологій та дизайну

oleksandr.bogushko@gmail.com

Ольга Володимирівна Єжова,

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри ергономіки і дизайну

Київський національний університет технологій та дизайну

oeyzhova70@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6760-3728>

Марина Вікторівна Колосніченко,

доктор технічних наук, професор, декан факультету дизайну,

Київський національний університет технологій та дизайну

kolosnichenko.mv@knutd.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0003-0020-3214>

ТОПОЛОГІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ В СИСТЕМІ «МАНЕКЕН-ОДЯГ»

Анотація. Виконано аналіз величин проекційних прибавок на різних ділянках горизонтального перерізу в системі «манекен-одяг» на рівні лінії талії, а також встановлено взаємозв'язки між фізико-механічними властивостями тканин костюмної групи і розподілом прибавки по лінії талії в жіночому плечовому одязі прямого силуету. Розглянуто топологічне перетворення

горизонтальної лінії перерізу манекену на рівні талії у лінію перерізу одягу. Проведені експериментальні дослідження дозволили визначити зміну кривизни лінії перерізу одягу залежно від властивостей тканин.

***Ключові слова:** манекен, жіночий одяг, тривимірне проектування одягу, прибавка конструктивна, повітряний прошарок, властивості матеріалів, драпірувальність, переріз.*

Постановка проблеми.

Сучасні системи тривимірного проектування одягу, які пропонують модулі для імітації одягання віртуальних виробів на електронний манекен фігури людини, дають можливість візуалізувати форму виробу у тривимірному просторі, оцінити якість його посадки на манекені та баланс виробу використовуючи різні режими перегляду. Слід відмітити, що такі програми характеризуються досить великим ступенем реалістичності візуалізації, але є проблеми пов'язані з недостатністю вихідних даних щодо формоутворення одягу у тривимірному просторі, його орієнтації відносно віртуального манекену, у тому числі з урахуванням властивостей тканин.

Для опису просторової форми оболонки одягу традиційно використовують величини проекційних прибавок в системі «манекен-одяг», вибір яких в більшості програм для візуалізації одягу здійснюють довільно, без узгодження з конструктивними особливостями деталей одягу, властивостями матеріалів зовнішнього і внутрішнього шарів, що визначають форму і ступінь однорідності поверхні оболонки (Li&Kuzmichev, 2009). У зв'язку з появою систем тривимірного проектування одягу особливої актуальності набули дослідження поверхонь системи «манекен-одяг» та удосконалення методів їх перетворення.

Необхідним є дослідження характеру перерізів системи «манекен-одяг» у тривимірному просторі на основних конструктивних рівнях, що відповідають фігурі людини, визначення величин проекційних і конструктивних прибавок залежно від фізико-механічних характеристик тканин, що дозволить прогнозувати пластику поверхні і об'ємно-просторову форму проектованого

одягу. Отже, актуальним є встановлення зв'язків між властивостями тканин та об'ємно-силуетною формою одягу в системі «манекен–одяг» і формування бази даних, достатньої для формалізації об'ємно-просторової форми жіночого плечового одягу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У напрямку тривимірної візуалізації та проектування одягу різного асортименту активно працюють розробники програм для проектування одягу, зарубіжні дослідники N. Magnenat-Thalmann [1, 2], P. Volino [2, 3], J. Wang [4], A. Psikuta [5, 6], J. Frackiewicz-Kaczmarek [5, 7] та інші.

У роботі [6] досліджені товщина повітряного проміжку та величина зони контакту за допомогою техніки 3D сканування тіла на прикладі одягу різного асортименту: футболки, спортивні штани, куртка та брюки. Також представляє інтерес вивчення повітряних зазорів між одягом і тілом людини під час руху людини, представлене у статті.

Стаття дослідників [7] присвячена проблемі розподілу прибавок і товщини повітряного зазору між одягом і тілом. Авторами встановлено, що драпірувальність пов'язана з величиною прибавок в одязі, зі збільшенням об'ємної форми одягу збільшується ступінь впливу драпірувальності тканини на товщину повітряного зазору.

Робота дослідників [8] присвячена аналізу використання технології тривимірного сканування системи «людина-одяг», дослідженню взаємозв'язку між параметрами підодягового простору і посадкою виробів на тілі людини.

В дослідженні [9] вплив постави тіла та наявність функціональних та структурних змін тіла на форму одягу. Виконано 3D-сканування на прикладі 50 чоловічих фігур, визначено показники постави тіла в одязі і без нього. Авторами розроблена параметрична модель моделі одягу, яка дозволяє здійснювати регулювання відповідно до різних розмірів тіла та типів постави тіла.

Авторами [10] розглянуто вплив особливостей форми тіла і постави людини на розподіл і величину повітряних зазорів в одязі. Величини повітряних зазорів та їх розподіл розглядалися в трьох проекціях в статиці і

динаміці, на відміну від подібних досліджень, де повітряний зазор визначався як середня відстань між тілом і одягом.

У статті [11] також досліджені величини і особливості розподіл повітряних зазорів у підодяговому просторі. Авторами встановлено, що на розподіл повітряних зазорів найбільше впливають такі властивості тканин як жорсткість і драпірувальність. Так, величини повітряних зазорів в одязі позитивно корелюють з довжиною деталі одягу, жорсткістю при вигині і лінійної щільністю тканини по основі, а також негативно корелюють з глибиною рівномірно розподілених складок, що важливо для прогнозування поведінки тканини в одязі і процесу її проектування.

Механічна поведінка тканини зазвичай вимірюється з використанням стандартних протоколів, таких як система оцінки Kawabata Evaluation System (KES) або більш прості FAST методи, які засновані на експериментальному вимірюванні деформаційних кривих для подовження, зрушення, і згину на нормованих зразках тканини [12]. Різні представлення механіки поверхні тканини потім дозволяють віртуальне відтворення поведінки тканини [2].

Моделювання форми поперечних перерізів жіночих жакетів розглянуто в роботі дослідників [13]. Авторами встановлено, що форми горизонтальних перерізів одягу можуть бути змодельовані розподілом прибавки в одязі на різних висотах, а контур горизонтального перерізу жіночого жакету може бути описаний поліноміальною моделлю другого порядку залежно від величини обхвату на конструктивному рівні і жорсткості тканини щодо згинання. Дана модель дозволяє прогнозувати інформацію при виборі тканини для бажаного зовнішнього вигляду жіночих жакетів.

Hlaing E. Ch., Krzywinski S., & Roedel H. в своїй роботі [14] запропонували методи для тривимірного проектування конструкцій функціонального верхнього одягу різного асортименту на основі створених масштабованих 3D віртуальних жіночих моделей. На прикладі штанів, автори запропонували метод модифікування шляхом зміни параметрів і лекал для різних моделей штанів.

Sayem A.S.M. et al. [15] в своїй роботі створювали прототипи віртуального одягу з використанням віртуальної трикутної сітки, яка повторює характер поверхні одягу. В якості змінних параметрів сітки обрано величини периметру трикутників та кути між сторонами, регулювання яких дає можливість отримувати розгортки поверхонь одягу.

Xu H. et al. [16] запропоновано метод, заснований на вимірюванні особливостей кривизни поверхонь різних ділянок тіла людини. Характерні криві, що відображають форму поперечного перерізу людського тіла, отримано шляхом реконструкції форм гнучких стрічок на спеціальному жилеті, що одягається на користувача. Стрічки спеціально маркуються, щоб виміряти довжину кривих та просторове положення кожного маркера, коли користувач обертається перед бінокулярною стереосистемою.

Wang C.C.L. et al. [17] запропонували підхід для моделювання тривимірного (3D) одягу навколо 3D-моделі людини шляхом введення двовимірних (2D) ескізів. По-перше, лекала для створення індивідуального 3D одягу розробляються відповідно до особливостей фігури людини; по-друге, профілі тривимірного одягу задаються за допомогою 2D-ескізів; що дає можливість побудувати гладеньку сітчасту поверхню, що інтерполірує введені 2D-ескізи. Автори стверджують, що отриману поверхню можна перетворити в лекала деталей одягу.

У роботі [18] запропоновано інтерактивний графічний метод, заснований на геометричних інструментах, що дає можливість конструювати та модифікувати лекала одягу безпосередньо на віртуальному манекені у тривимірному просторі. За допомогою цієї моделі автори можуть модифікувати віртуальні вироби на різні розміри і зрости.

Метод топологічного перетворення поверхонь одягу розглянуто у роботі Xu, W., & Hou, S. [19]. Авторами запропоновано алгоритм топологічно-інваріантної деформації сітки двовимірного рисунка поверхні одягу, що дозволяє вносити зміни у 3D-модель одягу після модифікації у 2D-моделях одягу. Перевагою запропонованого алгоритму є те, що сітчаста топологія сітки

одягу залишається не змінною, що спрощує числову схему, підтримуючи узгодженість матричного рівняння.

Fang, J., & Tien, C. [20] запропонували метод використання неоднорідних раціональних B-сплайнів з граничними умовами (NURBS) для створення щільноприлеглого ліфа на основі будови тіла людини. Поверхні NURBS застосовуються для забезпечення інтерактивного моделювання і отримання лекал одягу.

Спосіб топологічного перетворення в роботі [21] пропонується використовувати для апроксимації криволінійних контурів лацкана чоловічого піджака з використанням криволінійного ключа пропорційності.

З відомих у прикладній геометрії способів перетворення плоских кривих ліній, побудову горизонтальних перерізів лінійного каркаса ділянки поверхні жіночого жакету по лінії талії та лінії низу виконували ключовим способом перетворення з використанням трикутного та чотирикутного ключів пропорційності [22].

Дослідження впливу фізико-механічних властивостей матеріалів на об'ємну і силуетну форму швейних виробів різного асортименту і призначення виконано у роботах [23-25].

Метою роботи є розробка способу топологічного перетворення ліній перерізів системі «манекен-одяг» залежно від зміни їх кривизни та кількості вузлових точок з урахуванням властивостей матеріалів, з яких виготовлено одяг.

Основна частина. Одяг різних видів на одних ділянках прилягає до тіла щільно, а на інших розташовується вільно. Опорна поверхня, на який одяг прилягає до тіла щільно під дією власної ваги, змінюється залежно від виду одягу та його конструктивних особливостей, але в основному від щільності прилягання одягу. Поверхня одягу не має закономірної геометричної форми і являє собою складну криволінійну поверхню, тому конструкція одягу зазвичай має складну форму і змінну кривизну поверхні на окремих ділянках. Оскільки одяг має складну поверхню, яка може бути розгорнута на площині тільки

наближено, тому при визначені загальних принципів побудови конструкцій деталей одягу за вихідну поверхню приймають згладжену поверхню фігури людини.

Характерними частинами цієї поверхні є три ділянки: верхня ділянка або верхня опорна поверхня, середня ділянка, нижня ділянка або нижня опорна поверхня тіла людини [26]. Ділянки верхніх і нижніх опорних зон є постійними для більшості видів одягу. Аналіз робіт різних авторів показав, що розміри і топографія опорних поверхонь залежать від наступних чинників: типу будови тіла людини; покрою і об'ємно-силуетної форми моделі одягу; конструкції внутрішнього каркасного шару одягу і властивостей пакета матеріалів. Відомо, що опорна поверхня плечового виробу ззаду обмежується виступаючими точками лопаток незалежно від покрою одягу. Конттури виробу повторюють контури фігури людини, відступаючи від неї лише на величину товщини пакета матеріалів виробу і незначного повітряного прошарку. Починаючи від виступаючих точок лопаток, контури виробів прямого силуету розташовуються прямовисно.

У виробах напівприлеглого силуету контур виробу певною мірою повторює контур фігури. Спереду в жіночих виробах незалежно від силуету і об'ємної форми опорна поверхня обмежується виступаючими точками грудей. У чоловічих плечових виробах межа опорної поверхні проходить вище за соскові точки в області найбільшого розвитку великого грудного м'яза. Вироби на цих ділянках не прилягають до тіла, а проходять по лініях найкоротших відстаней. Форма контурів верхнього жіночого і чоловічого одягу спереду визначається не лише контурами фігури людини, а й залежить від властивостей пакету матеріалів, особливо прокладок, здатних зберігати об'ємну форму, надану при обробці. На інших ділянках внутрішня поверхня одягу розташована на певній відстані від тіла, що створює повітряні прошарки між поверхнею тіла та одягом. Повітряні прошарки необхідні для забезпечення свободи дихання та руху, нормальної життєдіяльності організму людини, а також для створення певної силуетної форми одягу. Величини повітряних прошарків залежать від

ступеня прилягання одягу до тіла людини і забезпечуються конструктивними прибавками.

Як об'єкт дослідження обрано жіночий жакет. Розроблені кресленики деталей конструкції жіночого жакета р. 170-96-104 прямого силуету з конструктивною прибавкою по лінії талії $P_t = 14$ см. Для аналізу поведінки тканин у виробках залежно від їх властивостей виготовлено дев'ять макетів жіночих жакетів довжиною до талії з різних тканин костюмної групи (рис. 1).

В лабораторії КНУТД за стандартними методиками [Ошибка! Источник ссылки не найден.8-30] визначено показники фізико-механічних властивостей зразків тканин, з яких виготовлено макети: товщина, поверхнева густина, жорсткість щодо згинання та коефіцієнт драпірувальності (табл. 1).



**Рис. 1. – Макети жіночих жакетів, виготовлених з тканин зразків 1, 6, 7
(вид спереду, вид знизу)**

Таблиця 1 – Показники фізико-механічних властивостей костюмних тканин

Номер зразка тканини	Сировинний склад, %	Поверхнева густина, г/м ²	Товщина, мм	жорсткість щодо згинання по основі, мкН·см ²	жорсткість щодо згинання по утоку, мкН·см ²	Коефіцієнт жорсткості	Коефіцієнт драпірувальності, %
S1	вовна – 70, ПЕ – 30	194	0,29	1265	1547	0,82	49
S2	вовна – 35, ПЕ – 62, ЕА – 3	176	0,39	1611	1292	1,24	46
S3	вовна – 80, ПЕ – 20	294	1,4	4538	5465	0,83	31
S4	вовна – 60, ПЕ – 40	233	0,44	1210	1189	1,01	38
S5	вовна – 40, ПЕ – 60	274	0,63	4156	2326	1,21	34
S6	вовна – 60, ПЕ – 40	330	1,1	5567	4847	1,15	40
S7	вовна – 86, ПЕ – 12, ЕА – 2	256	0,9	3173	2581	1,23	37
S8	вовна – 40, ПЕ – 60	404	1,4	6617	4587	1,44	46
S9	вовна – 50, ПЕ – 50	221	0,67	1978	1471	1,35	31

Дослідження форми виробів у системі «манекен-одяг» проведено засобами фотограмметрії після їх фотографування знизу на манекені, розрізаному по лінії талії [27]. Технологія фотографування системи «манекен-одяг» і обробки результатів була організована таким чином, щоб можна було вимірювати і досліджувати повітряні прошарки між манекеном і жакетом на рівні лінії талії. Дослідження характеру експлуатаційної поведінки одягу саме на рівні лінії талії не є випадковим, адже в багатьох методиках лінія талії є основною при побудові базових конструкцій плечових виробів, вона не належить верхній опорній поверхні, тому для визначення силуету виробу задають прибавку саме по лінії талії. В зоні, що розташована нижче опорної поверхні фігури, формоутворення вільне від впливу швів з'єднання деталей. Крім того, саме прибавка по лінії талії визначає об'ємно-силуетну форму одягу.

Після обробки фотознімків отримано контурні лінії горизонтальних перерізів на рівні лінії талії. Кожен переріз являє собою поєднання двох контурів: манекена (всередині) та одягу (ззовні) (рис. 2).

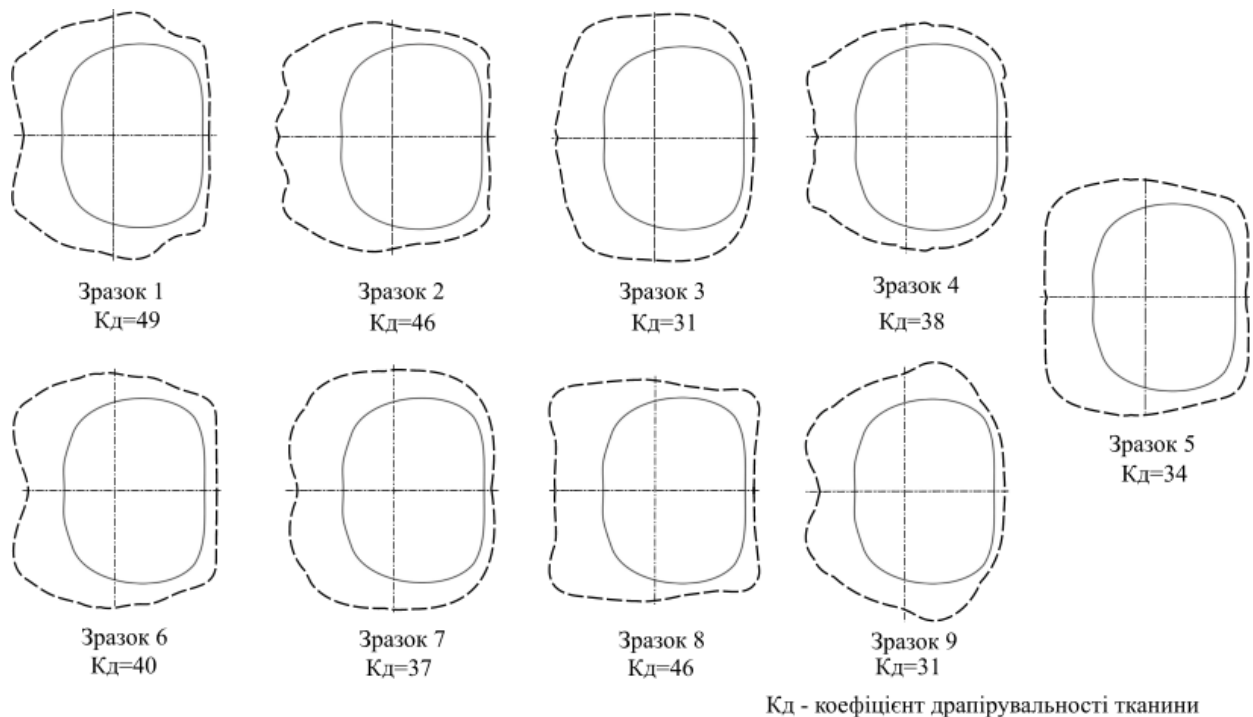


Рис. 2. – Перерізи на рівні лінії талії виробів з різних тканин

Для всіх досліджуваних макетів жакетів жіночих, виготовлених з тканин, які мають різні фізико-механічні властивості, встановлені закономірності зміни пластики поверхні і ступеня прилягання одягу до манекену. Встановлено, що властивості матеріалів, з яких виготовлено одяг, впливають на її формоутворення. Кривизна перетину системи на різних ділянках, її «хвилястість» залежить від властивостей тканин.

Значення коефіцієнта драпірувальності і відповідний йому переріз зразка на рівні лінії талії надано на рис. 2. Представлені дані показують, що зразки S1, S2, S8 мають найбільші коефіцієнти драпірувальності (49% і 46%), а зразки S3, S5 і S9 – найменші (від 31% до 34%), і відповідно тканини зразків S1, S2, S8 найкраще драпіруються, мають велику «хвилястість» перерізу, а зразки S3, S5 і S9 мають найменшу «хвилястість», характеризуються меншою кількістю фалд.

Встановлено, що на зміну величин проекційних прибавок впливають драпірувальність тканини, а також жорсткість тканини при згині по утоку, тому що просторова орієнтація виробу розглядається на горизонтальному перерізі по лінії талії, що відповідає напрямку нитки утоку тканини.

Згідно з теорією, коло та еліпс можна топологічно деформувати в квадрат, або навпаки, тому, що вони мають однакові топологічні властивості. Але значно складніше перетворити плавну опуклу криву, яка має тільки регулярні (звичайні) точки в горизонтальному перерізі поверхні манекена, у відповідний переріз поверхні виробу, що має кілька точок перегину. Для розв'язання такої задачі необхідно визначити параметри (або форму) криволінійного ключа пропорційності.

Розглянуто графічні та аналітичні алгоритми побудови горизонтальних перерізів поверхонь швейних виробів (див. рис. 1) на прикладах зразків тканин з різними коефіцієнтами драпірувальності (K_d). Так, зразок S3 ($K_d=31$) має найпростішу форму лінії перерізу одягу, який виготовлено з тканин з найменшим коефіцієнтом драпірувальності, а зразок S8 ($K_d=46$) – складну форму з точками перегину та найбільшим K_d . З урахуванням величин проекційних прибавок між одягом та манекеном на рівні лінії талії обрані такі вихідні дані (табл. 2).

Таблиця 2 – Вихідні координати базових точок горизонтальних перерізів

Умовне позначення макету	Коорд и-нати	Координати базових точок на рівні лінії талії, мм					
		манекена			виробу		
		P_m	B_m	S_m	P_c	B_c	S_c
S3	x	0	130,5	0	0	177,8	0
	y	129,8	0	-76,5	136,5	0	-146,5
S8	x	0	130,5	0	0	155,5	0
	y	129,8	0	-76,5	137,5	0	-160,5

На рисунках 3 та 4 введені такі умовні позначення:

P_m та P_c – виступаючі точки переду манекена та одягу, що належать сагітальному перерізу;

B_m та B_c – бічні точки манекена та одягу;

S_m та S_c – точки спинки манекена та одягу, що належать сагітальному перерізу;

КП – ключ пропорційності.

Геометричні та аналітичні алгоритми визначення координат дискретного ряду точок ліній горизонтального перерізу зразка **S3** (рис. 3):

1. Топологічно перетворимо горизонтальний переріз спинки $B_m S_m$ у криву $B_m S_c$. Для цього визначаємо:

а) різницю ординат точок S_c та S_m для побудови ключа пропорційності КП1: $\Delta y = y_{S_c} - y_{S_m}$;

б) координати точки S_o на КП1: $x_{S_o} = \Delta y$, $y_{S_o} = y_{S_m}$;

в) кутовий коефіцієнт КП1: $k1 = y_{S_o} / x_{S_o}$;

г) абсцису точки i_o на КП1: $x_{i_o} = y_{S_o} / k1$;

д) ординату точки i' після першого перетворення: $y_{i'} = x_{i_o} + y_{i_o}$.

2. Топологічно перетворимо криву $B_m S_c$ у криву $B_c S_c$ за допомогою КП2.

Для цього визначаємо:

а) різницю абсцис точок B_c та B_m : $\Delta x = x_{B_c} - x_{B_m}$;

б) координати точки B_o на КП2: $x_{B_o} = x_{B_m}$, $y_{B_o} = \Delta x$;

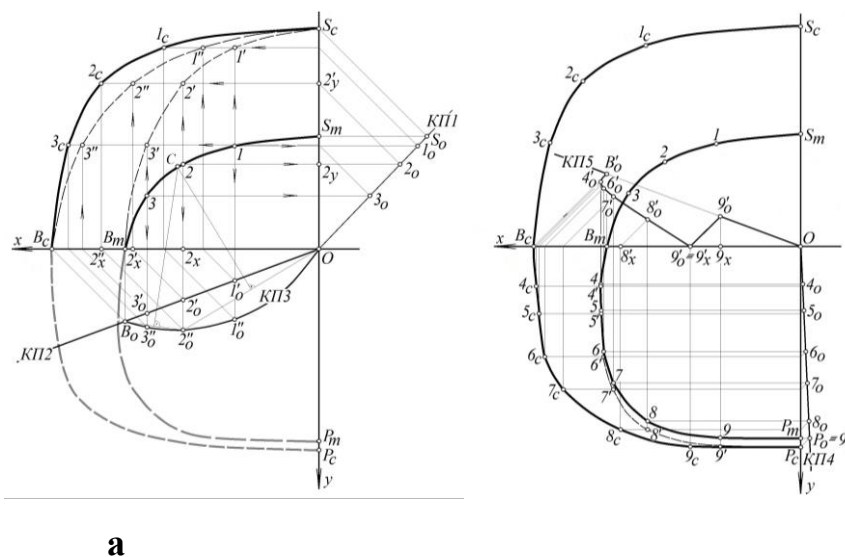


Рис. 3. – Топологічне перетворення горизонтального перерізу одягу

(тканина – зразок S3): а – спинка; б – перед

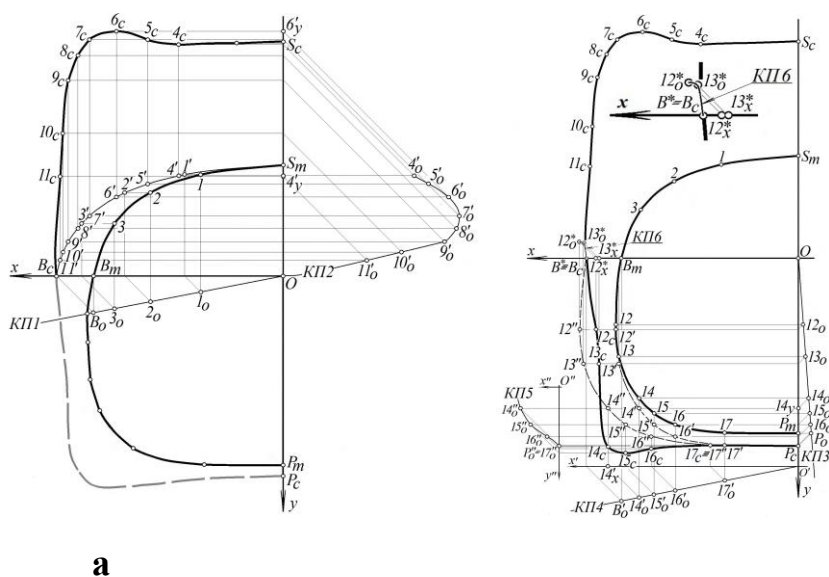


Рис. 4. – Топологічне перетворення горизонтального перерізу одягу (тканина – зразок S8): а – спинка; б – перед

в) кутовий коефіцієнт КП2: $k2 = yB_o / xB_o$;

г) ординату точки i_o на КП2: $yi_o' = k2 xi$;

д) абсцису точки i'' після другого перетворення: $xi'' = xi' + yi_o'$.

3. Після визначення дискретного ряду точок кривої $B_c S_c$, апроксимації її плавною опуклою кривою та визначення довжини, необхідно виконати третє перетворення для побудови кривої заданої довжини.

Топологічно перетворимо дискретний ряд точок B_c , $3''$, ..., S_c за допомогою КП3. Для цього на базі КП2, параметри якого були встановлені експериментально, будемо криволінійний ключ пропорційності КП 3. На рис. 2 за допомогою двох хорд $O2_o''$ і B_o2_o'' та перпендикулярів до їх середин – визначаємо центр C дуги кола – КП3.

Далі визначаємо:

а) різницю ординат точки i_o'' та відповідної точки на КП2 :

$$\Delta y = yi_o'' - k2 xi ;$$

б) абсцису точки i_c після третього перетворення: $xi_c = xi'' + \Delta y$.

4. Перетворення горизонтального перерізу переду P_mB_m у криву P_cB_c показано на рис. 2. Для цього визначаємо:

а) різницю ординат точок P_c та P_m для побудови ключа пропорційності КП4: $\Delta y = yP_c - yP_m$;

б) координати точки P_o на КП4: $xP_o = -\Delta y$, $yP_o = yP_m$;

в) кутовий коефіцієнт КП4: $k4 = yP_o / xP_o$;

г) абсцису точки i_o на КП4: $xi_o = yi_o / k4$;

д) ординату точки i' після першого перетворення:

$$xi' = xi, \quad yi' = yi + |xi_o|.$$

5. Топологічно перетворимо криву P_mB_m у криву P_cB_c за допомогою КП5.

Для цього визначаємо:

а) різницю абсцис точок B_c та B_m : $\Delta x = xB_c - xB_m$;

б) координати точки B_o на КП5: $xB_o' = xB_m$, $yB_o' = -\Delta x$;

в) кутовий коефіцієнт КП5: $k5 = yB_o' / xB_o'$;

г) ординату точки $9_o'$ на КП5: $y9_o' = k5 x9_o'$;

д) абсцису точки $9_o''$ після другого перетворення: $x9_c = x9_o' + |yi_o'|$.

6. Топологічно перетворимо дискретний ряд точок $9', 8', \dots, B_m$ за допомогою криволінійної (гіперболічної або параболічної) ділянки $9_o'-B_o'$ КП5, параметри якого визначено на основі експериментальних даних.

Для цього визначаємо:

а) абсцису точки i_x' переносом точки i_o' паралельно B_cB_o' на вісь Ox :

$$xi_x' = xi_o' + |yi_o'|;$$

б) координати ряду точок кривої: $xi_c = xi_x'$, $yi_c = yi'$.

Геометричні та аналітичні алгоритми визначення координат дискретного ряду точок ліній горизонтального перерізу **зразка S8** (рис. 4):

1. Топологічно перетворимо горизонтальний переріз спинки B_mS_m у криву B_cS_m . Для цього визначаємо:

а) різницю абсцис точок B_c та B_m для побудови ключа пропорційності КП1: $\Delta x = xB_c - xB_m$;

б) координати точки B_o на КП1: $xB_o = xB_m$, $yB_o = \Delta x$;

в) кутовий коефіцієнт КП1: $k1 = yB_o/xB_o$;

г) ординату точки i_o на КП1: $y i_o = k1 x i$;

д) абсцису точки i' після першого перетворення: $x i' = x i + y i_o$.

2. Горизонтальний переріз спинки має 2 точки перегину. Тому, топологічно перетворимо дискретний ряд точок $B_c, 11', 10', \dots, 4'$ за допомогою криволінійного КП2, параметри якого були встановлені експериментально.

Для цього визначаємо:

а) різницю ординат точок $4'$ та S_c для побудови точки 4_o ключа пропорційності КП2: $\Delta y = y S_c - y 4_o$;

б) координати точки 4_o на КП2: $x 4_o = \Delta y$, $y B_o = y 4'$;

в) координати точки i' на перетині горизонтальної лінії зв'язку з КП2:

$y i_x'' = y i' + x 4_o$; $x i_x'' = x i'$.

3. Після визначення дискретного ряду точок кривої $B_c, 11'', \dots, 4''$, апроксимації її плавною кривою та визначення довжини, необхідно внести зміни до координат базових точок горизонтального перерізу одягу і виконати третє перетворення для побудови кривої $B_c, 11_c, 10_c, \dots, 4_c, S_c$ заданої довжини.

4. Перетворення горизонтального перерізу переду $P_m B_m$ у криву $P_c B_c$ показано на рис. 3б. Ця ділянка також має дві точки перегину 13 та 17, а для побудови кривої $P_c B_c$ використаємо чотири ключі пропорційності.

Перше перетворення виконаємо для отримання дискретного ряду точок $B_m P_c$. Для цього визначаємо:

а) різницю ординат точок P_c та P_m для побудови ключа пропорційності КП3: $\Delta y = y P_c - y P_m$;

б) координати точки P_o на КП3: $x P_o = -\Delta y$, $y P_o = y P_m$;

в) кутовий коефіцієнт КП3: $k3 = y P_o / x P_o$;

г) абсцису точки i_o на КП3: $x i_o = y i_o / k3$;

д) координати точки i' після першого перетворення: $x i' = x i$, $y i' = y i + |x i_o|$.

5. Топологічно перетворимо ділянку $P_c 14''$ кривої $P_c B_m$ у криву $P_c 14_c$ за допомогою КП4 в системі координат $x'O'y$. Визначаємо:

- а) різницю абсцис точок B_c та B_m : $\Delta x = xB_c - xB_m$;
- б) координати точки B_o' на КП4: $xB_o' = xB_m$, $yB_o' = \Delta x$;
- в) кутовий коефіцієнт КП4: $k4 = yB_o'/xB_o'$;
- г) ординату точки i_o' на КП4: $yi_o' = k4 xi_o'$;
- д) абсцису точки i'' після другого перетворення: $xi'' = xi' + yi_o'$.

6. Перетворимо дискретний ряд точок $P_c, 17'', 16'', \dots, 14''$ за допомогою криволінійного КП5 (коробова крива дуг кіл) $P_o'', \dots, 14_o''$, параметри якого визначено на основі експериментальних даних. Побудову КП5 винесено на вільне поле кресленика (система координат $x''O''y''$), а в формулах початки координат O та O'' співпадають.

Для цього визначаємо:

- а) абсцису точки i_c : $xi_c = xi''$;
- б) ординату точки i_c переносом точки i_o'' під кутом 45° на вісь $O''y''$;

$$yi_c = yi'' + yi_o''.$$

7. Для перетворення точки перегину $13''$ та точки $12''$ визначаємо за допомогою криволінійної (гіперболічної або параболічної) ділянки $12_o^* - 13_o^* - B_o^*$ КП6, параметри якого визначено на основі експериментальних даних:

- а) ординати точок i^* ;
- б) абсциси точок i^* : $xi^* = xi'' - |yi^*|$.

Аналіз форми ключів пропорційності на основі проведених досліджень дозволяє зробити наступні висновки:

- базові «нульові» точки КП – точки вихідного перерізу, які належать одній із осей координат – не переміщуються;
- ключі пропорційності ділянок горизонтальних перерізів, які мають точку перегину, також будуть мати точку перегину.

Висновки. В результаті фотометричного дослідження макетів жіночих жакетів з тканин з різними фізико-механічними показниками в системі «манекен-одяг» встановлено закономірності впливу властивостей тканин на створення заданої об'ємно-силуетних форми жіночої плечового одягу. Виконано аналіз характеру розподілу прибавки по лінії талії в виробках прямого

силуету в залежності від фізико-механічних властивостей тканин костюмної групи. Розглянуті питання топологічного перетворення горизонтальних перерізів одягу з метою геометричного моделювання їх поверхонь та удосконалення способів перетворення поверхонь для подальшої реалізації у системах тривимірного проектування. Розроблені рекомендації з урахування властивостей тканин при розробці жіночого плечового одягу можуть бути використані при проектуванні моделей одягу, в тому числі для візуалізації швейних виробів в системах тривимірного проектування одягу.

Список джерел

1. Magnenat-Thalmann N., Kevelham B., Volino P., Kasap M., Lyard E. 3D web-based virtual try-on of physically simulated clothes. *Computer-Aided Design & Applications*. 2011. Vol. 8. P. 163–174. DOI: <https://doi.org/10.3722/cadaps.2011.163-174>.
2. Magnenat-Thalmann N., Volino P. From early draping to haute couture models: 20 years of research. *The Visual Computer*. 2005. Vol. 21, Iss. 8–10. P. 506–519. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00371-005-0347-6>.
3. Volino P., Cordier F., Magnenat-Thalman, N. From early virtual garment simulation to interactive fashion design. *Computer-aided design*. 2005 Vol. 37, Iss. 6. P. 593- 608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.09.003>.
4. Wang J. Study on the relation between garment style and ease distribution. *Journal of Donghua University*. 2004. Vol. 6(21). P. 31-37.
5. Psikuta A., Frackiewicz-Kaczmarek J., Mert E., Bueno M., Rossi R. Validation of a novel 3D scanning method for determination of the air gap in clothing. *Measurement*. 2015 Vol. 67. P. 61-70. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/254/16/162007/>.

6. Mert E., Psikuta A., Bueno M., Rossi R. The effect of body postures on the distribution of air gap thickness and contact area. *International Journal of Biometeorology*. 2017. Vol. 61(2). P. 363–375. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1217-9>.
7. Frackiewicz-Kaczmarek J., Psikuta A., Bueno M., Rossi R. Effect of garment properties on air gap thickness and the contact area distribution. *Textile Research Journal*. 2014. P. 51-69. DOI: <https://doi.org/10.1177/0040517514559582>.
8. Hong Y., Bruniaux P., Zeng X., Curteza A., Liu, K. Design and evaluation of personalized garment block design method for atypical morphology using the knowledgesupported virtual simulation method. *Textile Research Journal*. 2017. Vol. 0(00). P. 1–14, DOI: <https://doi.org/10.1177/0040517517708537>.
9. Petrak S., Mahnic M., Rogale D. Impact of Male Body Posture and Shape on Design and Garment Fit. *Fibres & textiles in Eastern Europe*. 2015. Vol. 6(114). Iss. 23. P. 150-158. DOI: <https://doi.org/10.5604/12303666.1167435>.
10. Xiaohui L., Wanga Y., Lua Y. Effects of Body Postures on Clothing Air Gap in Protective Clothing. *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics*. 2011. 4:3. P. 277–283. DOI: <https://doi.org/10.3993/jfbi09201107>.
11. Miao Y., Wang Y., Jun L. Correlation between clothing air gap space and fabric mechanical properties. *The Journal of The Textile Institute*. 2013. Vol. 104 (1). P. 67–77. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000.2012.693274>.
12. Пашкевич К.Л. Теоретичні основи дизайну одягу на засадах тектонічного підходу : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.03. Київ: КНУБА, 2017. 44 с.
13. Wang Z., Ng R., Zhang W. Modeling of cross-sectional shape for women's jacket design. *GAKKAISHI*. 2007. Vol. 63. Iss. 4. P. 87-99. DOI: <https://doi.org/10.2115/fiber.63.87>.

14. Hlaing E., Krzywinski S., Roedel, H. Garment prototyping based on scalable virtual female bodies. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2013. Vol. 25 Iss. 3. P. 184 – 197. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/09556221311300200> .
15. Sayem A., Kennon R., Clarke N., Hayes S. The effect of link-length and vertex angle on mesh generation and pattern flattening for virtual clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2016. Vol. 28. Iss 4. P. 503–515. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/IJCST-04-2015-0046> .
16. Xu H., Li J., Lu G., Deng H., Zhang D., Ye J. Modeling 3D human body with a smart vest. *Computers & Graphics*. 2018. Vol. 75. P. 44–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.07.005> .
17. Wang C., Wang Y., Matthew M., Yuen F. Feature based 3D garment design through 2D sketches. *Computer-Aided Design*. 2003. Vol. 35. Iss. 7. P. 659-672. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(02\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(02)00091-X) .
18. Wang C., Wang, Y., Yuen, M. Design automation for customized apparel products. *Computer-Aided Design*. 2005. Vol. 37(7). P. 675–691. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.08.007> .
19. Xu W., Hou S. Parametric garment modeling from sections. *11th IEEE International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics*. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1109/cadcg.2009.5246843> .
20. Fang J., Tien C. Trimmed NURBS surface applications in computerized 3D fashion design for garment industry. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2013. Vol. 25(1). P. 24–42. DOI: <https://doi.org/10.1108/09556221311292192> .
21. Богушко О. А., Малиновський В. І., Святкіна А. Є. Геометрія поверхонь одягу. Київ: Освіта України, 2011. 192 с.
22. Пашкевич К. Л., Богушко О. А. Аспекты геометрического моделирования поверхностей одежды. *Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности: зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф.*, Москва, МГУДТ, 2014. С. 236-240.

23. Pashkevich K., Yezhova O., Kolosnichenko M., Ostapenko N., Kolosnichenko E. Designing of the complex forms of women's clothing, considering the former properties of the materials. *Man-Made Textiles in India*. 2018, Vol. 46, Issue 11, P. 372-380.
24. Pashkevich K., Kolosnichenko M., Yezhova O., Kolosnichenko O., Ostapenko N. Study of Properties of Overcoating Fabrics during Design of Women's Clothes in Different Forms. *Tekstilec*. 2018. Vol. 61(4). P. 224-234. DOI: <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2018.61.224-234>.
25. Pashkevich K.L., Kolosnichenko M.V., Ostapenko N.V. Research of some physical and mechanical characteristics of suiting fabrics for designing the clothes. *Vlakna a Textil*. 2016. Vol. 1. P. 3–8. URL: http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT_2016_1.pdf.
26. Пашкевич К. Л. Теоретичні основи дизайну одягу на засадах тектонічного підходу : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.03. Київ: КНУБА, 2017. 44 с.
27. Пашкевич К. Л. Исследование влияния свойств тканей на образование объемно-силуэтной формы женской плечевой одежды. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2016. №2(31). С.14-15.
28. ГОСТ 12023-2003. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины. [Дата введения 2003-01-01]. Вид. офіц. Москва: Стандартиформ, 2003. 14 с.
29. ГОСТ 3811-72. Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей. [Дата введения 1973-01-01]. Вид. офіц. Москва: Изд-во стандартов, 1973. 14 с.
30. ГОСТ 10550–93. Материалы текстильные. Плотна. Методы определения жесткости при изгибе. [Дата введения 1995-01-01]. Вид. офіц. Москва: Межгосуд. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993. 15 с. (Інформація та документація).

References

1. Magnenat-Thalmann, N., Kevelham, B., Volino, P., Kasap, M., & Lyard, E. (2011). 3D web-based virtual try-on of physically simulated clothes. *Computer-Aided Design & Applications*: DOI: <https://doi.org/10.3722/cadaps.2011.163-174>. [in English].
2. Magnenat-Thalmann, N., & Volino, P. (2005). From early draping to haute couture models: 20 years of research. *The Visual Computer*: DOI: <https://doi.org/10.1007/s00371-005-0347-6>. [in English].
3. Volino, P., Cordier, F., & Magnenat-Thalman, N. (2005). From early virtual garment simulation to interactive fashion design. *Computer-aided design*: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.09.003>. [in English].
4. Wang, J. (2004) Study on the relation between garment style and ease distribution. *Journal of Donghua University*, 6(21), 31-37 [in English].
5. Psikuta, A., Frackiewicz-Kaczmarek, J., Mert, E., Bueno, M., & Rossi, R. (2015). Validation of a novel 3D scanning method for determination of the air gap in clothing. *Measurement*: DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/254/16/162007/>. [in English].
6. Mert, E., Psikuta, A., Bueno, M. A., & Rossi R. M. (2017). The effect of body postures on the distribution of air gap thickness and contact area. *International Journal of Biometeorology*: DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1217-9>. [in English].
7. Frackiewicz-Kaczmarek, J., Psikuta, A., Bueno, M., & Rossi, R. (2014). Effect of garment properties on air gap thickness and the contact area distribution. *Textile Research Journal*: DOI: <https://doi.org/10.1177/0040517514559582>. [in English].
8. Hong, Y., Bruniaux, P., Zeng, X., Curteza, A., & Liu, K. (2017). Design and evaluation of personalized garment block design method for atypical morphology using the knowledgesupported virtual simulation method. *Textile Research Journal*: DOI: <https://doi.org/10.1177/0040517517708537>. [in English].

9. Petrak, S., Mahnic, M., & Rogale, D. (2015). Impact of Male Body Posture and Shape on Design and Garment Fit. *Fibres & textiles in Eastern Europe*: DOI: <https://doi.org/10.5604/12303666.1167435>. [in English].
10. Xiaohui, L., Wanga, Y., & Lua, Y. (2011). Effects of Body Postures on Clothing Air Gap in Protective Clothing. *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics*: DOI: <https://doi.org/10.3993/jfbi09201107>. [in English].
11. Miao, Y., Wang, Y., & Jun, L. (2013). Correlation between clothing air gap space and fabric mechanical properties. *The Journal of The Textile Institute*: DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000.2012.693274>. [in English].
12. Pashkevych, K.L. (2017). Teoretychni osnovy dyzajnu odiahu na zasadakh tektonichnoho pidkhodu [Theoretical foundations of clothing design based on the tectonic approach]. Extended abstract of candidate's thesis. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture [in Ukrainian].
13. Wang, Z., Ng, R., & Zhang, W. (2007). Modeling of cross-sectional shape for women's jacket design. *GAKKAISHI*: DOI: <https://doi.org/10.2115/fiber.63.87>. [in English].
14. Hlaing, E., Krzywinski, S., & Roedel, H. (2013). Garment prototyping based on scalable virtual female bodies. *International Journal of Clothing Science and Technology*: DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/09556221311300200>. [in English].
15. Sayem, A., Kennon, R., Clarke, N., & Hayes, S. G. (2016). The effect of link-length and vertex angle on mesh generation and pattern flattening for virtual clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology*: DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/IJCST-04-2015-0046>. [in English].
16. Xu, H., Li, J., Lu, G., Deng, H., Zhang, D., & Ye, J. (2018). Modeling 3D human body with a smart vest. *Computers & Graphics*: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.07.005>. [in English].
17. Wang, C., Wang, Y., Matthew, M., & Yuen, F. (2003). Feature based 3D garment design through 2D sketches. *Computer-Aided Design*: DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(02\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(02)00091-X). [in English].

18. Wang, C., Wang, Y., & Yuen, M. (2005). Design automation for customized apparel products. *Computer-Aided Design*: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.08.007>. [in English].
19. Xu, W., & Hou, S. (2009). Parametric garment modeling from sections. *11th IEEE International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics*: DOI:10.1109/cadcg.2009.5246843.[in English].
20. Fang J., & Tien C. (2013). Trimmed NURBS surface applications in computerized 3D fashion design for garment industry. *International Journal of Clothing Science and Technology*: DOI: <https://doi.org/10.1108/09556221311292192>. [in English].
21. Bohushko, O. A., Malynovs'kyj, V. I., & Sviatkina, A. Ye. (2011). Heometriia poverkhon' odiahu [Geometry on top of odyagu]. [in Ukrainian].
22. Pashkevych K. L., & Bohushko, O. A. (2014). Aspekty heometrycheskoho modelyrovanyia poverkhnostej odezhdy [Aspects of geometric modeling of clothing surfaces]. Design, technology and innovation in the textile and light industry: *zbirnyk tez dopovidej mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – collection of abstracts of the international scientific-practical conference*. (pp. 236-240). Moscow: MHUDT [in Russian].
23. Pashkevich, K., Yezhova, O., Kolosnichenko, M., Ostapenko, N., & Kolosnichenko, E. (2018). Designing of the complex forms of women's clothing, considering the former properties of the materials. *Man-Made Textiles in India*. 46, 11, 372-380 [in English].
24. Pashkevich, K., Kolosnichenko, M., Yezhova, O., Kolosnichenko, O., & Ostapenko, N. (2018). Study of Properties of Overcoating Fabrics during Design of Women's Clothes in Different Forms. *Tekstilec*: DOI: 10.14502/Tekstilec2018.61.224-234 [in English].
25. Pashkevich, K.L. Kolosnichenko, M.V., & Ostapenko, N.V. (2016). Research of some physical and mechanical characteristics of suiting fabrics for designing the clothes. *Vlakna a Textil*. URL: http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT_2016_1.pdf. [in English].

26. Pashkevych, K. L. (2017). Teoretychni osnovy dyzajnu odiahu na zasadakh tektonichnoho pidkhodu [Theoretical foundations of clothing design based on the tectonic approach]. Extended abstract of candidate's thesis. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture [in Ukrainian].
27. Pashkevych K. L. (2016). Yssledovanye vlyianyia svojstv tkanej na obrazovanye ob'emno-syluetnoj formy zhenskoj plechevoj odezhdy [Investigation of the influence of fabric properties on the formation of the volumetric-silhouette form of women's shoulder clothing]. *Vestnyk Vytebskoho hosudarstvennogo tekhnolohycheskoho unyversyteta - Vitebsk State Technological University Bulletin*, 2(31), 14-15 [in Russian].
28. GOST 12023-2003. Materyaly tekstyl'nye y yzdelyia yz nykh. Metod opredelenyia tolschyny [State Standard 12023-2003. Textile materials and articles thereof. Thickness determination method]. Moscow, Standartinform Publ., 2003. 14 p.
29. GOST 3811-72. Materyaly tekstyl'nye. Tkany, netkanye polotna y shtuchnye yzdelyia. Metody opredelenyia lynejnykh razmerov, lynejnoj y poverkhnostnoj plotnostej [State Standard 3811-72. Textile materials. Fabrics, non-woven fabrics and piece goods. Methods for determining linear dimensions, linear and surface densities]. Moscow, Standartinform Publ., 1973. 14 p.
30. GOST 10550–93. Materyaly tekstyl'nye. Polotna. Metody opredelenyia zhestkosti pry yzghybe [State Standard 10550–93. Textile materials. Canvases. Methods for determining bending stiffness]. Moscow, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 1993. 15 p.

Pashkevich Kalina, Doctor of Technical Sciences, Professor,

Professor of the Department of Economics and Design,

Kyiv National University of Technologies and Design

Bogushko Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Professor,

Kyiv National University of Technologies and Design

Olga Yezhova, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,

Professor of the Department of Economics and Design,

Kyiv National University of Technologies and Design

Kolosnichenko Maryna, Doctor of Technical Sciences, Professor,

Dean of the Faculty of Design, Kyiv National University of Technologies and Design

TOPOLOGICAL TRANSFORMATION OF HORIZONTAL SECTIONS IN THE "MANNEQUIN-CLOTHING" SYSTEM

Abstract. For the development of programs for three-dimensional clothing design, the topical task is to establish links between the properties of fabrics and the three-dimensional shape of clothing in the system "mannequin-clothing" and the formation of a and mechanical properties of fabric samples, from which the models are made are determined: thickness, surface density, flexural stiffness and draping coefficient. The analysis of the nature of the distribution of the increase along the waist line in the products of a straight silhouette depending on the physical and mechanical properties of the fabrics of the costume group is performed. It is established that the change in the values of projection increments is influenced by the drapeability of the fabric, as well as the stiffness of the fabric when bending along the weft. The issues of topological transformation of horizontal sections of clothes for the purpose of geometric modeling of their surfaces are considered, graphic and analytical algorithms of construction of horizontal sections of surfaces of garments on examples of samples of fabrics with various coefficients of drapery are developed. The developed recommendations for taking into account the properties of fabrics in the development of women's shoulder clothing can be used in the design of clothing models, including for the visualization of garments in three-dimensional clothing design systems.

Keywords: *mannequin, women's clothing, three-dimensional clothing design, structural increase, air gap, material properties, drape, cross section.*