

DOI 10.31891/2307-5732-2019-275-4-39-43  
УДК 677.047.622.112.2

М.О. КУЩЕВСЬКИЙ  
Хмельницький національний університет

## ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ГОЛОВНИХ УБОРІВ ПНЕВМОРІДНИМ СПОСОБОМ

*Автором запропоновано пневморідний спосіб формування складних просторових форм-головок головних уборів. Наведено фізичну модель запропонованого способу, що дає можливість математично описати процес формування.*

*Ключові слова: формування, текстильний матеріал, двофазний потік.*

M. KUSCHEVSKIY  
Khmelnitskyi National University

### PHYSICAL MODEL OF FORMING PROCESS OF DETAILS OF HEAD-DRESSES BY PNEUMO-LIQUID BY METHOD

*The research of article is a study of possibility of the use of kinetic energy of falling air-aquatic in future diphasic stream on forming ability of textile materials. A purpose of work is a calculation of physical model of the real process of forming of heads of head-dresses as a result of action of diphasic stream. Thus it should be noted that kinetic energy of falling diphasic stream can correct due to adjusting of one of constituents of compressed air. A scientific novelty of the got result is in the presented physical model of process of forming of textile material due to the static loading. The got model enables in more depth to study processes which take a place at deformation of separate types of sewing wares, calculate the optimum parameters of process for fabrics with different structural characteristics.*

*Keywords: forming, textile material, diphasic stream.*

#### Вступ

В останні роки швейна промисловість стала все більше перетворюватись у високоефективну галузь. Кожен рік на підприємствах впроваджується більш як сто тисяч одиниць нового обладнання, що сприяє збільшенню механізації виробництва. Завдяки науково-технічному прогресу швидкими темпами розвивається і покращується не лише становище на швейних підприємствах, але й прогресує розвиток моди в непередбачених і розгалужених напрямках.

Перспектива роботи галузі полягає у збільшенні частки вітчизняних товарів на внутрішньому ринку та у зростанні експорту продукції власного виробництва. Це можливо завдяки впровадженню сучасного обладнання, ліцензійних та малоопераційних технологій, використанню комп'ютерних технологій на всіх етапах виготовлення швейних виробів, набуттю досвіду роботи на основі співпраці з закордонними фірмами-замовниками.

Актуальність теми – забезпечення належної якості та конкурентоздатності швейних виробів потребує впровадження інноваційних технологій та нових наукових розробок на всіх стадіях швейного виробництва.

В останні роки значна увага приділяється розробці нових енергозберігаючих технологій та обладнання для волого-теплового оброблення виробів, зокрема для формування деталей головних уборів.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом в якості робочого середовища на операціях формування запропоновано нове робоче середовище – вода. Використання води дає змогу формувати матеріали без використання температури [1–5] та дозволяє зменшити тиск на тканину, що сприяє скороченню енерговитрат та покращенню зовнішнього вигляду виробів (не утворюється полисків, опалів тканини). Крім того, вода дозволяє переносити в “трубу” структуру тканини частинки клею у колоїдному стані [3, 6]. На перспективу використання робочого середовища вказує значне зростання деформаційних властивостей текстильних матеріалів, що нашоухує авторів [3, 6] на думку, що таке середовище виконує роль “мастила”, чим покращує рухомість як “тонкої”, так і “грубої” структури матеріалу за рахунок зменшення коефіцієнту тертя в системі ниток [7]. Крім того, пропонується використовувати воду в якості силового поля, тому що вона може набувати різних коливальних рухів, і тим самим створювати вібрацію як одноплощину [1, 3, 9], так і просторову [5, 10], а також відцентрові сили [8], що передаються на тканину, тобто активізувати «грубу» структуру матеріалу. Тому доцільно продовжувати пошук нових альтернативних способів формування деталей на основі використання РАРС.

Розробка способу формування деталей швейних виробів нашоухується на значні труднощі, що пояснюються складністю та багатогранністю процесів формотворення виробів з текстильних матеріалів. У зв'язку з цим при розробці способу формування велике значення набуває експериментальний шлях дослідження. Подібні дослідження необхідно проводити комплексно, шляхом вибору оптимальної послідовно-паралельної структури процесу збору та обробки інформації.

**Формулювання мети статті**

Метою роботи є розробка фізичної моделі процесу деформації тканин при використанні кінетичної енергії падаючого потоку води на елемент, що формується. Отримана модель дасть змогу більш глибоко вивчити процеси, що відбуваються при деформаціях текстильних матеріалів та теоретично визначити оптимальні умови деформації тканин з різним сировинним складом та структурою.

**Виклад основного матеріалу досліджень**

Сутність способу полягає у використанні двофазних потоків. Двофазні потоки виконують роль нового робочого середовища, які одночасно поєднують функцію силового поля (механічна дія) та функцію пластифікатора (вода). При цьому забезпечується розподіл формувального зусилля по всьому об'єму тканини, але найбільше навантаження припадає на нижні частини зразка, що формується. Процес формування здійснюється шляхом змінного по величині силового поля повітря – водяної суміші.

Робоча схема динамічних властивостей повітряно-водяної суміші наведена на рис. 1

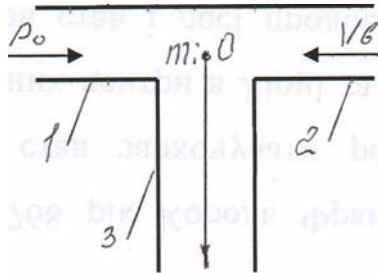


Рис. 1. Розрахункова схема властивостей повітряно-рідинної суміші

По трубі 1 в форсунку 3 поступає повітря під тиском  $P_0$ , по трубі 2 – вода, швидкість якої в трубі рівна  $V_B$ . В форсунці 3 тиск повітря та вода змішуються, утворюючи свого роду суспензію – суміш краплин масою  $m_i$  і повітря.

Потік рідини в трубі 2 турбулентний. Розбивання рідини на окремі краплинки відбувається в області точки  $O$  (початок системи координат).

Нехай в об'ємі форсунки утворюються краплини масою  $m_i$  (рис. 2.), які утворюють суміш та характеризуються функцією розподілу  $f(m)$ . Тоді під  $m$  слід розуміти середнє значення нормованої функції розподілу:

$$m_0 = \int_0^{\infty} f(m)dm, \tag{1}$$

- $m$  – маса рідини;
- $d$  – диференціал;
- $f$  – функція розподілу.

Зрозуміло, що потік повітря та водяний потік мають компенсувати горизонтальні складові імпульсів та краплини, мають можливість рухатися лише у вертикальному напрямку (вздовж осі  $Ox$ ). Без втрати загальності можна рахувати, що внутрішні поверхні трубок не змочувальні.

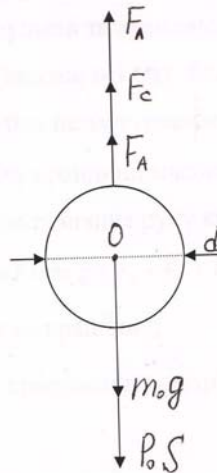


Рис. 2. Розподіл сил, які діють на краплину в польоті

Розглянемо динаміку краплини масою  $m_0$  в форсунці 3. Запишемо динамічне рівняння руху краплини:

$$m_0 \ddot{\vec{r}} = m_0 \vec{g} + \vec{F}_p + \vec{F}_C + \vec{F}_A + \vec{F}_d, \tag{2}$$

де  $\vec{F}_p$  – сила тиску повітря на краплину;  
 $\vec{F}_л$  – робочий опір руху краплини в повітрі;  
 $\vec{F}_C$  – сила Стокса;  
 $\vec{F}_A$  – сила Архімеда.

$$F_A = m_0 g \frac{\rho_n}{\rho_0}; \quad (3)$$

$$F_C = 6\pi\eta r V = 3\eta \cdot \sqrt[3]{\frac{6\pi^2 m_0}{\rho_n}} \cdot \frac{dx}{dt}; \quad (4)$$

$$F_л = \frac{\rho_n \cdot V^2 \cdot S}{2} = \frac{1}{\rho_n} \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 \cdot S; \quad (5)$$

$$F_p = \frac{1}{2} \cdot \rho_n (U - V)^2 \cdot S = \frac{1}{2} \cdot \rho_n \left( U - \frac{dx}{dt} \right)^2. \quad (6)$$

Проектуємо рівняння (2) по осі Ox:

$$m_0 \ddot{x} = m_0 g + \frac{\pi d^2}{8} \cdot \rho_n \cdot (U - \dot{x})^2 - \frac{\pi d^2}{8} \cdot \rho_n \cdot \ddot{x} - 3\eta \cdot \sqrt[3]{\frac{6\pi^2 m_0}{\rho_n}} \cdot x - \frac{\rho_n}{\rho} \cdot m_0 g, \quad (7)$$

де  $\ddot{x}$  – прискорення;  $\dot{x}$  – швидкість.  
 Зведемо рівняння (7) до більш компактного виду:

$$\ddot{x} = -a_1 \dot{x} + a_0 \quad (8)$$

$$a_1 = \frac{2U}{d} \cdot \frac{\rho_n}{\rho} + \frac{3\eta}{4\rho d^2}; \quad a_0 = \left( 1 - \frac{\rho_n}{\rho} \right) \cdot g + \frac{3}{32} \cdot \frac{\rho_n}{\rho} \cdot U^2 \quad (9)$$

де  $U$  – швидкість повітря в форсунці 3;  
 $\rho_n, \rho$  – густина повітря та води;  
 $d$  – діаметр краплини;  
 $\eta$  – динамічна в'язкість повітря.

Початкові умови для диференціального рівняння (8) вибираємо наступні:

$$x(0) = 0; \quad \dot{x}(0) = 0 \quad (10)$$

Для знаходження характеру руху краплини розв'язуємо рівняння (8) з початковими умовами (7):

Заміна:

$$\dot{x}(t) = V; \quad \ddot{x} = \dot{V}(t) \quad (11)$$

Отримаємо рівняння для швидкості краплини:

$$\dot{V} + a_1 V = a_0 \quad (12)$$

Розв'язок з урахуванням початкових умов:

$$V(t) = \frac{a_0}{a_1} \cdot (1 - e^{-a_1 t}) \quad (13)$$

$$x(t) = \frac{a_0}{a_1} \cdot t - \frac{a_0}{a_1} \cdot (1 - e^{-a_1 t}) \quad (14)$$

Приймаємо наближення:

$$a_1 \approx \frac{2U}{d} \cdot \frac{\rho_n}{\rho}; \quad U_0 \approx \frac{3}{32} \cdot \frac{\rho_n}{\rho} \cdot U^2 \quad (15)$$

Отримаємо залежність швидкості краплини від висоти її польоту  $V(H)$ :

$$V(H) \approx \frac{2H}{d} \cdot U \quad (16)$$

Розраховано швидкість удару краплини.

В роботі наведені результати досліджень силового поля, яке викликає деформацію в тканині. Технічна реалізація силового поля наступна: з вертикального сопла поступає повітряно-водяна суміш під тиском  $P$ , яка достатня для того, щоб проштовхнути крізь зразок, що формується суміш  $H > R$  ( $R$  – найвища точка формуючого елемента). Без втрати загальності можна вважати, що формуючий елемент симетричний

відносно площини  $ZOY$ . Вибираємо форму у вигляді півсфери ( $x^2 + y^2 + Z^2 = R^2$ ;  $Z > 0$ ). Сила  $F_T = F \sin \varphi$  є силою, яка притискає тканину до форми (без деформації). Сила  $F_o$  розтягує тканину;  $F_o = F \sin \varphi$ . Якщо врахувати, що на формуючий елемент  $dydz$  діє сила  $dF = SV^2 / dydz$ , то

$$F_o = dF \cos \varphi = SV^2 / 2dydz \cos \varphi \quad (17)$$

Водяні краплини, які змішуються в форсунці, отримують певну швидкість  $V$  (перед зіткненням з нитками тканини). Ці краплини при ударі на текстильний матеріал, що формується, виконують дві функції:

- діють з певною силою  $F$  на нитку;
- проникають в простір між нитками.

Залежно від кута падіння на поверхню, сила  $F$  може бути розкладена на дві складові: перпендикулярна до поверхні (притискаюча сила  $F_1$ ) і дотична (сила розтягу  $F_2$ ). Розподіл деформації по контуру формуючого елемента представлений на рис. 3. Частина повітряно-водяної суміші, попадаючи між нитки, зменшує коефіцієнт тертя між системами ниток і величини сили  $F_2$  виявляється достатньою для зсуву нитки. Величина цього зсуву залежить від пружних властивостей ниток. Нова довжина нитки стає більшою, тому що проявляється рельєфність тканини.

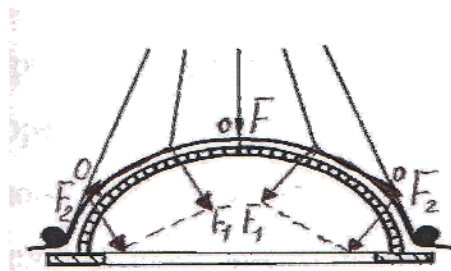


Рис. 3. Схема розподілу деформації по контуру формуючого елемента

Подальше продавлювання повітряно-водяної суміші з тканини призводить до збільшення коефіцієнта тертя. Після цього нитки тканини залишаються в деформованому стані. Рельєф зникає з часом. Такий механізм підтверджений експериментально. Даний вплив сил не є руйнівним і не змінює фізико-механічні та хімічні властивості тканини. Експериментально отримані проби зберігають форму тривалий час (2 місяці). Найбільшою деформуючою буде сила в нижніх частинах форми. Проблемним є питання анізотропії тканини, яка може проявлятися в неякісній невідомій деформації.

#### Висновок

Розроблено фізичну модель процесу деформації тканин при пневморідинному способі формування. Отримана модель дає змогу більш глибоко вивчити процеси, що відбуваються при деформаціях текстильних матеріалів та теоретично вирахувати оптимальні умови деформації тканин з різним сировинним складом та структурою.

#### Література

1. Буханцова Л.В. Удосконалення процесу формування жіночих головних уборів : дис. ... канд. тех. наук : 05.19.04 / Буханцова Л.В. – Х., 2007. – 228 с.
2. Войтюк М. В. Удосконалення технології формування об'ємних деталей головних уборів на основі гідровакуумних способів : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.19 / Войтюк М. В. – Хмельницький, 2014. – 255 с.
3. Кошевка Ю. В. Удосконалення процесу формування та закріплення форми деталей жіночих головних уборів із тканих матеріалів : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.04 / Кошевка Ю. В. – Хмельницький, 2010. – 170 с.
4. Якимчук О.В. Розробка технології формування деталей головних уборів гідроструменевим способом : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.04 / Якимчук О.В. – Хмельницький, 2010. – 168 с.
5. Химіч Г.М. Розробка технології просторового формування головних уборів в рідкому середовищі : дис. канд. техн. наук : 05.18.19 / Химіч Г.М. – Хмельницький, 2016. – 215 с.
6. Julia Koshevk, Nikolay Kushevskiy. Design of energy-saving technology of shaping and fixing the shape of headdresses parts. Technology organic and inorganic substances. Eastern European Journal of Enterprise Tehnologies. Vol 3. N. 6(81), 2016, p. 16–26. URL: [www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192819394](http://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192819394)
7. Kushevskiy N. Prerequisites for the development of nydro-jet technology in designing women's headgear at hospitality establishments / N. Kushevskiy, O. Yakymchuk, D. Yakymchuc, J. Koshevk, E. Chepelyik, N. Myrhorodska, O. Dzyundzya, V. Burak // Fastern-Europen Journal of Enterprise Technologies Engineering technological system. – 2018. – Vol. 1. No 1 (91). – P. 36–46.
8. Кушевський М.О. Теоретичні основи гідровідцентрового способу формування текстильних матеріалів / М.О. Кушевський, Ю.В. Кошевка // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015.

– № 2. – С. 91–96.

9. Патент 98747 UA, МПК А41Н 41/00 В29С 53/00. Установка для віброформування об'ємних деталей головних уборів у горизонтальній площині / Химич Г. М., Кущевський М. О. – № u2014 11130 ; заявл. 13.10.2014 ; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9.

10. Патент 97148 UA, МПК D06B 17/00. Спосіб формування об'ємних деталей головних уборів за допомогою просторової вібрації / Химич Г. М., Кущевський М. О. – № a2014 10806 ; заявл. 03.10.2014 ; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5.

#### References

1. Bukhantsova L.V. Udoskonalennia protsesu formuvannia zhinochykh holovnykh uboriv : dys. ... kand. tykh. nauk : 05.19.04 / Bukhantsova L.V. – Kh., 2007. – 228 s.

2. Voitiuk M. V. Udoskonalennia tekhnolohii formuvannia obiemnykh detalei holovnykh uboriv na osnovi hidrovakuumnykh sposobiv : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.18.19 / Voitiuk M. V. – Khmelnytskyi, 2014. – 255 s.

3. Koshevko Yu. V. Udoskonalennia protsesu formuvannia ta zakriplennia formy detalei zhinochykh holovnykh uboriv iz tkanykh materialiv : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.19.04 / Koshevko Yu. V. – Khmelnytskyi, 2010. – 170 s.

4. Yakymchuk O.V. Rozrobka tekhnolohii formuvannia detalei holovnykh uboriv hidrostrumenevym sposobom : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.19.04 / Yakymchuk O.V. – Khmelnytskyi, 2010. – 168 s.

5. Khymich H.M. Rozrobka tekhnolohii prostorovoho formuvannia holovnykh uboriv v ridkomu seredovyshchi : dys. kand. tekhn. nauk : 05.18.19 / Khymich H.M. – Khmelnytskyi, 2016. – 215 s.

6. Julia Koshevko, Nikolay Kushevskiy. Disign of energy-saving technology of shaping and fixing the shape of headdresses parts. Technology organic and inorganic substances. Eastem European Jornal of Enterprise Tehnologies. Vol 3. N. 6(81), 2016, r. 16–26. URL: [www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192819394](http://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192819394)

7. Kushevskiy N. Prerequisites for the development of nydro-jet technology in designing womens headgear at hospitality establishments / N. Kushevskiy, O. Yakymchuk, D. Yakymchuc, J. Koshevko, E. Chepelyik, N. Myrhorodska, O. Dzyundzya, V. Burak // Fastern-Europen Journal of Enterprise Technologies Engineering technological system. – 2018. – Vol. 1. No 1 (91). – P. 36–46.

8. Kushchevskiy M.O. Teoretychni osnovy hidrovitdsentrovoho sposobu formuvannia tekstylnykh materialiv / M.O. Kushchevskiy, Yu.V. Koshevko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2015. – № 2. – С. 91–96.

9. Patent 98747 UA, МПК А41Н 41/00 В29С 53/00. Установка dlia vibroformuvannia obiemnykh detalei holovnykh uboriv u horyzontalnii ploshchyni / Khymych H. M., Kushchevskiy M. O. – № u2014 11130 ; zaiavl. 13.10.2014 ; opubl. 12.05.2015, Biul. № 9.

10. Patent 97148 UA, МПК D06B 17/00. Sposib formuvannia obiemnykh detalei holovnykh uboriv za dopomohoiu prostorovoi vibratsii / Khymych H. M., Kushchevskiy M. O. – № a2014 10806 ; zaiavl. 03.10.2014 ; opubl. 10.03.2015, Biul. № 5.

Рецензія/Peer review : 17.6.2019 р.

Надрукована/Printed :18.7.2019 р.

Стаття рецензована редакційною колегією