

ИЗОТРОПНО РАВНОВЕСИЕ НА ДВОЙНА ТЪКАН С ПАМУЧЕН ВЛАКНЕСТ СЪСТАВ

Ивелин Рахнев

irahnev@tu-sofia.bg

Колеж - Сливен при ТУ - София, Бургаско шосе 59, 8800 Сливен

РЕЗЮМЕ

Двустранните и двуслойни тъкани позволяват да се постигне различна структура и плътност на лицето и обратния слой с еднакъв влакнест състав. Ефектът от повишената външна устойчивост на износване и подобрената вътрешна поръзност обикновено се постига за сметка на увеличаването на площта на тъканите, което ги прави относително неблагоприятни за търговски цели. Равновесието на масите и механичните свойства между основата и вътъка е Определящ фактор за качеството на тъканите. Когато тъканта има многослойна структура и е предназначена за защитно облекло, равномерното разпределение на еластичната устойчивост придобива първостепенно значение за потребителските свойства. Изотропията в смисъл на абсолютно изравняване на свойствата между основата и вътъка оценява постигането на оптимално сближаване между тъкачните нишки и насочва настройките на цикъла на тъкане. Възможната вариация на съотношението между еластичните модули на основата и вътъка, в зависимост от разстоянието на вътъка и напрежението на основата, е основната идея на тази статия.

Ключови думи: памук, двойна тъкан, еластично съпротивление, изотропност.

ISOTROPY EQUILIBRIUM OF THE DOUBLE WOVEN FABRIC WITH COTTON FIBROUS COMPOSITIONS

Ivelin Rahnev

irahnev@tu-sofia.bg

Technical University of Sofia, College of Sliven, Bourgasko chaussée 59, 8800 Sliven, Bulgaria

ABSTRACT

Double-sided and double-layer fabrics enable to achieve a different structure and density of the face and the reverse layer by uniform fibrous composition. The effect of increased external wear resistance and improved internal porosity is generally obtained at the expense of increased area mass of the tissues, which makes them relatively disadvantageous for commercial purposes. The equilibrium of the masses and the mechanical properties between the warp and the weft is a determining factor for the quality of the woven fabrics. When the fabric has a multilayered structure and is designed for protective clothing, the uniform distribution of the elastical resistance acquires a paramount importance for the consumer properties. Isotropy in the sense of absolute equalising of the properties between the warp and the weft evaluates the optimum cohesion achieved between the weaving threads and directs the weaving cycle settings. The possible variation of the ratio between the elastic modules of the warp and the weft, depending on the weft spacing and the warp tension, is the basic idea of this article.

Keywords: cotton, double weave, elastic resistance, isotropicity.

1. Увод

Проектирането на тъкан плат преминава през множество процедури и обикновено отнема много време, което е неизбежно в условията на масовото производство на текстилни изделия. Когато, обаче, тъканият плат има сложна сплитка с многослоен строеж при еднообразен влакнест състав на нишките, изискванията към него са свързани с общото равновесие между основата и вътъка. Ако платът е предназначен за защитно облекло, експлоатационните очаквания добавят нови изисквания към неговото качество и свойства.

Здравината на плата е с първостепенно значение при определяне на неговото качество. От тази гледна точка проектът на плата е съсредоточен върху полезното уеднаквяване на механичното съпротивление по направление на основните и на вътъчните нишки. Известните изследвания на многослойните тъкани, както и технологичният опит са установили два основни фактора за изменение на строежа и на свойствата на платовете по време на тъкачния цикъл: вътъчната набивка и опъването на основата.

Предмет на настоящата статия е изменение на отношението между еластичния модул по основа и по вътък тъкан двоен плат с памучен лицев слой и вълнен опаков слой. Целта на разработката се състои в установяване на зависимостта между строежа на плата и неговата възможна равнинна изотропия. Задачите за изпълнение включват: литературно проучване, провеждане на планиран експеримент, обработката на резултатите с анализ и дискусия.

2. Теоретични предпоставки

Въпреки своя пространствен строеж текстилните платове се разглеждат като пластинки. Едно от основанията е, че дебелината на плата е многократно по-малка от неговата дължина и ширина. Другото основание е, че установяването на основното качество на плата, т.е. неговата здравина, се извършва посредством прилагане на сили и деформации по неговата равнинна повърхност.

За двумерни непрекъснати среди теорията на еластичността [3] разглежда якостно деформационния процес като еднороден по z на плата. Деформационният тензор $\underline{\varepsilon}$ е функция само на повърхностните координати, например x и y и не зависи от z . От граничните условия за

напреженията $\underline{\sigma}$ по повърхността на плата, който е подложен на надлъжни усилия [3] следва, че напреженията по нормалния вектор (z) са нищожни:

$$\sigma_{ik} \cdot n_k = 0 \xrightarrow{\sigma_z=0} \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = \sigma_{zz} = 0 \quad (1)$$

След отстраняване на нулевите компоненти, връзката между напреженията $\underline{\sigma}$ и деформациите $\underline{\varepsilon}$ се основава на уравновесената свободна енергия и се описва посредством модула на Юнг E_Y и коефициента на Poisson $\nu(\sigma)$:

$$\begin{cases} \sigma_{xx} = \frac{E_Y}{1 - \sigma^2} (\varepsilon_{xx} + \nu \cdot \varepsilon_{yy}) \\ \sigma_{yy} = \frac{E_Y}{1 - \sigma^2} (\varepsilon_{yy} + \nu \cdot \varepsilon_{xx}) \\ \sigma_{xy} = \frac{E_Y}{1 + \sigma} \varepsilon_{xy} \end{cases} \quad (2)$$

По реда на изчисленията всички вътрешни премествания $\underline{u}_z$ остават изключени и така платът придобива характера на двумерна среда или еластична равнина.

Има различни начини за описание на равнинната симетрия на напреженията и деформациите.

Общото определение на свойствата в непрекъсната среда, т.е. изотропията на материалите, се отнася до независимостта на тензора $\underline{I}$ от 4-ти ранг на модула на еластичността $E_Y(I_{ijkl})$ от избора на координатната система. Изотропията на хомогенните материали е предмет за изучаване в три изследователски области.

На първо място, теорията на еластичността [3], както и еластичността в непрекъсната среда [5] дефинират изотропията като еднаквост на компонентите на материалния тензор $\underline{I} = \text{const} \cdot \underline{I}_{ijkl}$, независимо от тяхното разположение в матрицата, т.е. независимо от насочването на репера O_{xyz} .

$$I_{iklm} = I_{klim} = I_{ikml} = I_{lmik} \quad (3)$$

Също така, за изотропните материали външното натоварване се изразява като функция на тензора на напреженията $\underline{\sigma}$ по следния начин:

- Или като симетрична функция на основните напрежения σ_x, σ_y и σ_z ;

- Или като функция на инвариантите на тензора на напреженията $\underline{\sigma}$.

На второ място, теорията на пластичността [6] и [4] описва еластичното поведение на изотропните материали само чрез един модул на еластичност - E_y , един коефициент на Poisson - ν и един модул на огъване - G . В този случай ортогоналната симетрия на якостно-деформационния процес не зависи от ориентацията на координатната система. Нещо повече, еластичната изотропност може да се постигне за тяло с кристалоидна структура, което е изградено от ориентирани анизотропни елементи. Такива са текстилните влакна.

На трето място е реологичното уравнение на състоянието на телата или флуидите [7] - $\varepsilon = (\tau)$. При отсъствието на деформации на срязване ε_{ij} , тогава нормалните напрежения τ_i не зависят от ориентацията на разглежданата повърхнина:

$$i, j \rightarrow \varepsilon_{ij} = 0 \rightarrow \tau_x = \tau_y = \tau_z \quad (4)$$

В този случай якостно-деформационният процес разглежда материала като хомогенен и изотропен.

Тъканият плат, колкото и да е сложна сплитката, или влакнестият състав на нишките да е разнообразен, има ясно определени параметри на равнинна ортотропия. От една страна, платното може да се изследва като двумерно тяло. От друга страна, перпендикулярното прекръстосване на основните нишки и на вътъчните нишки имплицитно определя ориентацията на двумерната координатна система.

Като се имат предвид особеностите на тъкачната техника и строежа на тъканите платове, изотропията не може да бъде очаквана като качество на текстилното изделие в теоретичния смисъл на понятието. Логичното различие на еластичното поведение на плата по основа и по вътък подлежи на описание посредством изследването на съответните модули на еластичността: E_{warp} и E_{weft} . Съотношението между двата показателя $R_E = E_{warp} / E_{weft}$ представлява универсален показател на изменението на равнинната ортотропия на плата в зависимост от неговия строеж. В случая интерес представлява начинът, по който може да се изчисли модулът на еластичността - E_y ,

или на Young, от експерименталните реограми. Различните източници [1], [8] и [9] определят приблизителните граници на еластичността като видимия край на линейната от експерименталната реограма. От тази гледна точка координатите на граничното еластично удължение $[\varepsilon]^{el}$ и на граничната еластична сила на реакцията $[P]^{el}$, N могат да бъдат посочени с достатъчна точност и тогава модулът на еластичността е достъпен за изчисляване:

$$E_y = \frac{[P]^{el}}{[\varepsilon]^{el}}, N \quad (5)$$

3. Експериментална работа

Експерименталната работа е поведена в промишлени условия и обхваща всички етапи от получаването на тъкачните нишки до изработването на тъкания плат и метрологичното изпитване на различните варианти.

3.1. Опитна постановка

3.1.1. Влакнест състав и строеж на двойния тъкан плат.

Тъкачните нишки за двойния плат с памучно лице и вълнено опако са резултат от предварителна експериментална работа, чиито резултати са последователно публикувани [13, 14, 15, 16].

Разпределението на преждите и на химичните коприни спрямо основата и вътъка е както следва:

- Основни нишки за лицевия плат:

$Tt = 20x2, 100\% \text{ Cotton};$

- Основни нишки за опаковия плат:

$Tt = 20x1, 100\% \text{ Cotton};$

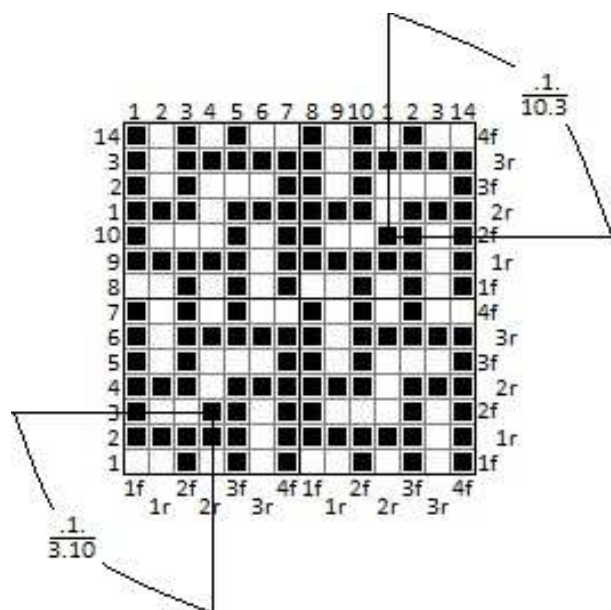
- Вътъчни нишки за лицевия плат:

$Tt = 20x1, 100\% \text{ Cotton};$

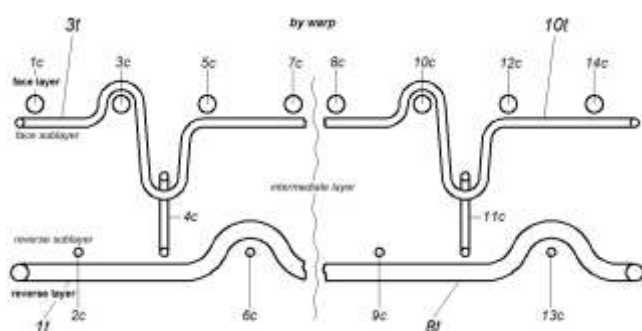
- Вътъчни нишки за опаковия плат:

$Tt = 33x1, 100\% \text{ Cotton, OE}.$

Сплитката на двойния плат е резултат от самостоятелна разработка, която е защитена с патентите [11, 12]. Сплитката на двойния плат е показана на **Фигура 1**, а неговата контекстура като двоен плат с многослоен строеж е представена на **Фигура 2**.



Фигура 1 Тъкачна сплитка на двоен плат с повтор от 14 основни и 14 вътъчни нишки



Фигура 2 Напречно сечение на двойния тъкан плат по основа.

Техническа същност на строежа на тъканта. Задачата на настоящия полезен модел е да се създаде двоен тъкан плат, предназначен за защитно облекло, с памучно лице за текстилно струйно печатане и памучно опако, получен по тъкачен и по предачно-пресукален способ, да има повишена износоустойчивост при подобрен физиологичен комфорт на облеклото. Изтъканият плат е изграден от три слоя - лицев, опаков и междинен, свързващ. Трислойният строеж на плата се дължи на сложната тъкачна сплитка от типа "двоен плат" и голямото различие в дебелините на лицевите и опаковите основни и вътъчни нишки.

Двойният тъкан плат за защитно облекло включва лицев и опаков плат. Лицевият плат е изграден от четири кепърни сплитки в основен ефект на прекръстосвания и диагонални бразди отдолу нагоре и отляво надясно с по четири

основни нишки и четири вътъчни нишки. Опаковият плат е изграден от четири кепърни сплитки в основен ефект на прекръстосвания и диагонални бразди отдолу нагоре и отляво наляво с по три основни нишки и три вътъчни нишки. Получената обща двойна тъкан съдържа четиринадесет основни нишки и четиринадесет вътъчни нишки.

Свързването на двата плата е осъществено чрез прекръстосване на четвъртата основна нишка с третата вътъчна нишка и на единадесетата основна нишка с десетата вътъчна нишка.

Трислойният строеж на двойния тъкан плат за защитно облекло се характеризира с това, че основните нишки от лицевия плат са от пресукана памучна прежда с линейна плътност от 20×2 текс и образуват лицев слой от памучни влакна. Вътъчните нишки от лицевия плат са от единична памучна рингова прежда с линейна плътност от 20×1 текс и така образуват лицев подслой от памучни влакна. Основните нишки от опаковия плат също са от единична памучна рингова прежда с линейна плътност от 20×1 текс и така образуват опаков подслой от памучни влакна. Вътъчните нишки от опаковия плат са от единична памучна роторна прежда с линейна плътност от 33×1 текс и образуват опаков слой от памучни влакна. Двете свързвания между лицевия и опаковия плат обединяват лицевия и опаковия подслоеве в междинен слой от памучни влакна.

Трислойният строеж на двойната тъкан е вследствие на особеното съчетание на три вида нишки. Основните нишки на лицевия плат са от пресукана памучна прежда. Вътъчните нишки на опаковия плат са от единична памучна прежда. Вътъчните нишки на лицевия плат и основните нишки на опаковия плат са от единична памучна прежда и са поне два пъти по-тънки от пресуканата памучна прежда и от единичната роторна прежда. Тези нишки образуват съответно лицевия и опаковия подслой от памучни влакна в двойната тъкан. Връзките между двата плата се дължат на допълнителните прекръстосвания между единичните рингови прежди.

По този начин се обособяват три самостоятелни слоя в относително независимите два плата: лицев и опаков. Външният, лицев слой на плата е съставен преобладаващо от памучни влакна с висока плътност. Вътрешният, опаков слой на плата е съставен преобладаващо от па-

мучни влакна с намалена плътност и повишена порьозност и пухкавост. Междинният, свързващ слой се намира между лицевия и опаковия слой и остава скрит във вътрешността на плата. Този слой е изграден от лицевия и опаковия подслой на единичните памучни прежди. Платът се състои от памучни влакна, които изграждат три вида нишки: единична рингова прежда, единична роторна прежда и пресукана прежда.

Трислойният строеж на тъканта придава подобрени потребителски свойства на изделието: повишена износоустойчивост на лицевия слой, подобрени хигиенни свойства на опаковия слой и увеличено механично съпротивление. Гладката и равномерна повърхност на лицевия слой, която е получена от съчетанието от основен ефект на лицевия плат и фини памучни прежди, обуславя лесното технологично приложение на мастилено - струйния печат върху текстилни подложки.

Предимствата на тази двойна тъкан от четири сплитъчен и три сплитъчен кепъри се състои в получаването на две различни по свойства повърхности от памучни прежди с приблизително еднакви линейни плътности. Голямата плътност на памучния лицев слой придава повишена износоустойчивост на плата спрямо външната среда. Относително намалената плътност на памучния опаков слой води до подобрени хигиенни свойства на плата спрямо човешкото тяло. Допълнителните прекръстосвания на единичните прежди в междинния слой играят ролята на допълнителен носещ елемент, който повишава здравината на плата. Перпендикулярното пресичане на кепърните диагонали на сплитката от лицевия и опаковия слой увеличават мекотата и пъргавината на плата при неговата експлоатация. Мрежестият строеж на междинния слой заедно със свързванията между двата плата на двойния тъкан плат има намалена влакнеста плътност и въздушните междини увеличават термичното съпротивление на общия плат.

3.1.2. Технологично и метрологично оборудване

Експерименталните образци са изработени на тъкачен стан с гъвкави рапири Vamatex Leonardo P1001es.

Динамометричните тестове са изпълнени на динамометър Titan - Universal Tester Model 510. Тестовите съответстват на strip method EN ISO 13934-1 или ASTM D 5035, [8].

Микроскопските фотографии на лицевите и на опаковите повърхности на плата са направени с микроскоп Leica MS.

3.1.3. Експериментално планиране

Експерименталната работа е осъществена на базата на централно композиционен ротатобен експеримент (D-plans) с два фактора. В случая първият фактор е вътъчната набивка - D_d [picks/dm], а вторият фактор е опъването на основата - P_{warp} [kN]. Този тип планове посредством регресионен анализ дават възможността за съставяне на оптимизационни полиноми от втора степен:

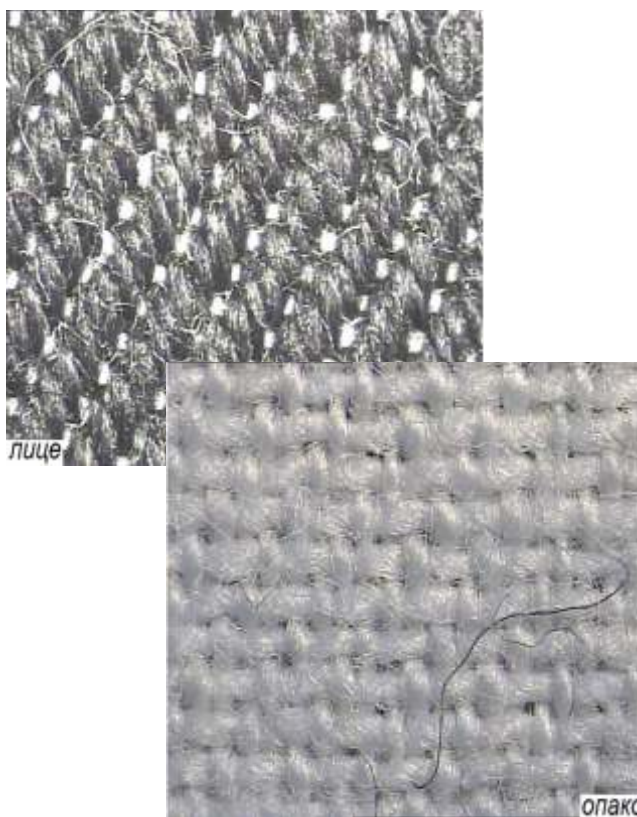
$$Y_p(X_1 : X_2) = b_0 + \sum b_i X_i + b_{12} X_1 X_2 + \sum b_{ii} X_i^2 \quad (6)$$

3.2. Провеждане на експеримента

Редът на експерименталните образци е определен на случайния принцип. След изтъкване на зададените варианти платът е оставен на естествена релаксация в продължение на 48 часа. Впоследствие опитните образци за динамометъра са изготвени в съответствие със стандартните изисквания.

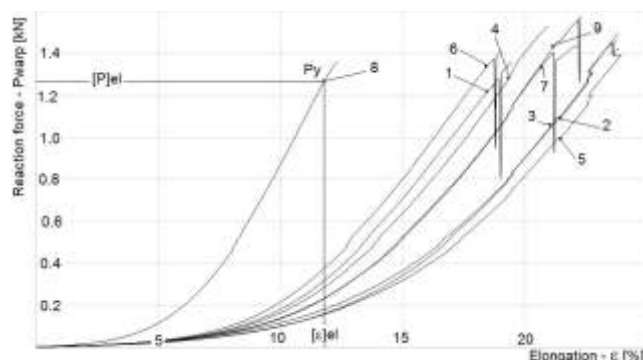
3.3. Опитни резултати и обработка

Лицевата и опаковата повърхности на двойния плат са онагледени посредством микроскопски фотографии, както е показано на **Фигура 3**. Различията между двата външни слоя на плата ясно се виждат.

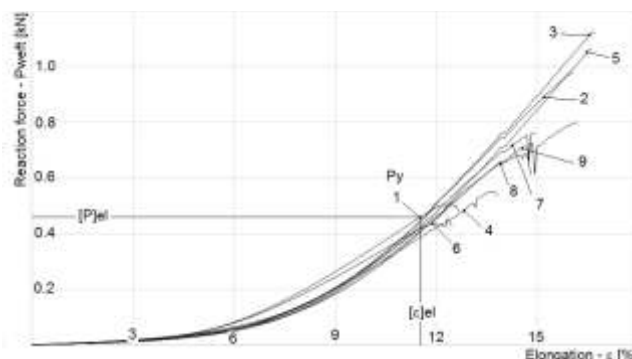


Фигура 3 Микроскопски снимки лицевата и опаковата повърхност на двойния памучен плат

На **Фигура 4** са представени реограмите от динамометричните изпитвания по основа, на **Фигура 5** - по вътък.



Фигура 4 Реограми от динамометричните изпитвания по основа на двойния памучен плат. Също така, начинът за практическо определяне на граничната еластична реакция $[P]^{el}$ и граничното еластично удължение $[\varepsilon]^{el}$ е показан.



Фигура 5 Реограми от динамометричните изпитвания по основа на двойния памучен плат

С изчислените стойности на модула на Юнг от изпитаните образци по основа - E_{warp} и по вътък - E_{weft} е попълнена **Таблица 1**. В нея са дадени първичните резултати от експерименталните варианти, чрез които могат да се изчислят регресионните коефициенти.

Таблица 1

Експериментално планиране на факторните нива по варианти и лабораторните резултати

Варианти									
Фактор 1	-	+	-	+	-1,4142	1,4142	0	0	0
Фактор 2	-	-	+	+	0	0	-1,4142	1,4142	0
Ф1-вътъчна набивка	340	536	340	536	300	575	438	438	438
Ф2-напрежение на основата	3,44	3,44	5,56	5,56	4,50	4,50	6,00	3,00	4,50
№ вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9x5 vars
Свойства	Динамометрични резултати								
E_{warp} [N]	6470	5430	5430	6720	5000	7110	6800	10670	6860
E_{weft} [N]	3980	5980	6720	3760	6400	3670	4970	4740	4880
$R_{warp/weft}$	1,63	0,91	0,81	1,79	0,78	1,94	1,37	2,25	1,41

В **Таблица 2** са дадени регресионните коефициенти на оптимизационния полином за еластичния модул по основа - E_{warp} , еластичния

модул по вътък - E_{weft} , както и за отношението - $R_E = E_{warp}/E_{weft}$ между тях.

Таблица 2

Регресионни коефициенти на оптимизационния полином за 3-те изследвани свойства

Регресионни коефициенти								
	b0	b1	b2	b12	b11	b22	f	Fr
E_{warp} [N]	6,858	-0,397	-0,564	0,613	-0,785	0,502	7	1,31
E_{weft} [N]	4,856	0,518	0,123	-1,3	0,018-5,4	-0,015	9	2,56
Rw/w	1,404	-0,199	-0,106	0,425	-0,055	0,123	8	5,50

4. Анализ и дискусия

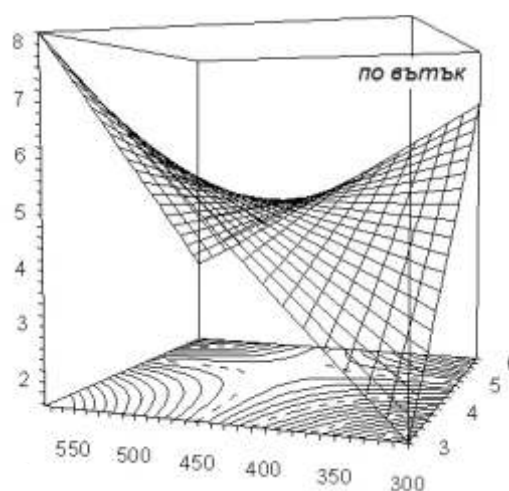
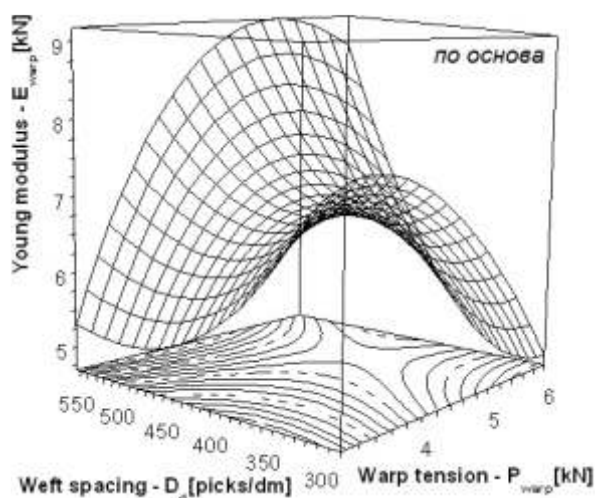
Едно прагматично приложение на оптимизационния полином от уравнение (6) е построяването на повърхнината на отклика спрямо изменението на експерименталните фактори.

В резултат на изчислените регресионни коефициенти, еластичните модули на Юнг по основа и по вътък на двойния памучен плат са онагледени на **Фигура 6**.

Коефициентът на отношението R_E между двата еластични модула е представен **Фигура 7**.

Механичното съпротивление на двойния памучен плат по основа се характеризира с голямо различие измежду експерименталните

варианти. Още в усреднените реограми на **Фигура 4** се вижда разсейването и групирането на резултатите от динамометричните изпитвания. В условията на еднакъв влакнест и сплитъчен строеж ясно се откроява влиянието на вътъчната набивка, т.е. различието между кривите за 5-ти и 6-ти варианти. По същия начин и обтягането на основата в двете крайни стойности предизвиква голямо отклонение между криви 7 и 8. Особеностите на функционалното въздействие на вътъчната набивка и на обтягането на основата достъпно се онагледяват от повърхността на отклика на модула на Юнг, която е показана на **Фигура 6а**.



Фигура 6 Повърхнина на отклика на модула на Young по основа и по вътък

Въпреки сложната седловинна форма на повърхнината, три ясни зони могат да бъдат обособени.

На първо място са минималните нива на еластичния модул. От повърхнината се установява минималната стойност на модула E_{warp} @ 5.0 kN при минимална вътъчна набивка от D_d @ 325 dm^{-1} и максимално обтягане на основата при P_{warp} @ 5.0 kN. Отслабеното еластично съпротивление на двойния плат по основа в този случай се дължи на претоварените пресукани преди $Tt = 20 \times 2, 100\% - Cotton$, от които е наслована основата. Предишни изследвания [15] установиха, че граничното еластично напрежение за тези преди се постига при $[P]^{el} \leq 5.1$ kN, докато единичното натоварване на всяка една от тези основни нишки е $P_{warp\ thread}$ @ 60.0 cN. Това означава, че основните нишки са вътъкани в условията на начални вискоеластични деформации и така се получава намалението

на еластичния модул. Другата минимална стойност на еластичния модул на двойния плат по основа E_{warp} @ 1 kN е при ниски нива на обтягане на основата P_{warp} @ 4.0 kN и максимална вътъчна набивка. D_d @ 575 dm^{-1} . В случая намаленото еластично съпротивление на плата по основа се дължи на увеличеното вработване (вътъкаване) на слабо обтегнатите основни нишки, т.е. увеличените амплитуда и честота на вълнообразните деформации, около вътъците.

Максималната стойност на еластичния модул по основа на двойния памучен плат се намира при относително малка вътъчна набивка - D_d @ 375 dm^{-1} и минимално обтягане на основата - P_{warp} @ 3.0 kN. Голямото еластично съпротивление на плата се дължи на слабото вработване на основните преди, при съхраняване на началните еластични свойства на пресуканите памучни преди.

В повърхнината на отклика се открояват две основни явления.

От една страна, влиянието и на двата експериментални фактора е с параболичен характер. Изменението на вътъчната набивка $D_d @ 375 \div 475 \text{ dm}^{-1}$ преминава през екстремум с максимални нива на еластичния модул. Същевременно, обтягането на основата преминава през екстремум $P_{warp} @ 4.25 \div 5.25 \text{ kN}$, за който еластичният модул проявява минимални стойности.

От друга страна, съчетанията от нивата на двата фактора, за които те предизвикват екстремум в повърхнината на отклика, определят зона на функционалната стабилност на еластичния модул. При средни нива на вътъчната набивка $D_d @ 375 \div 475 \text{ dm}^{-1}$ и при относително голямо обтягане на основата $P_{warp} @ 4.5 \div 5.5 \text{ kN}$ еластичният модул по основа поддържа сравнително постоянни нива около $E_{warp} @ 6.75 \text{ kN}$. Това свидетелства за установено равновесие между началната деформация на вътъканите основни нишки.

Механичното съпротивление на двойния памучен плат по вътък е показано на **Фигура 6б**. В повърхнината на отклика ясно се открояват две минимални и две максимални стойности, диаметрално разположени върху експерименталната зона. Едната минимална зона $E_{waft} @ 1.5 \text{ kN}$ се намира при минималната вътъчна набивка $D_d @ 300 \text{ dm}^{-1}$ и при минимално обтягане на основата $E_{warp} @ 6.75 \text{ kN}$. Малкото еластично съпротивление на плата по вътък в случая се дължи на малките деформации на вътъците, слабото сцепление между вътъците и основните нишки. В този смисъл еластичният модул на плата по вътък се доближава до модула на единичните кардни прежди.

Другата минимална стойност на еластичния модул на плата по вътък $E_{waft} @ 2.785 \text{ kN}$ се намира при максималната вътъчна набивка - $D_d @ 300 \text{ dm}^{-1}$ и при максимално обтягане на основата - $P_{warp} @ 8.0 \text{ kN}$. В случая силно опънатите основни нишки, както и голямата вътъчна гъстина предизвикват големи вълнообразни деформации у вътъчните нишки, които впоследствие се разтеглят по-лесно.

Максималната стойност на еластичния модул по вътък $E_{waft} @ 2.785 \text{ kN}$ при максималното обтягане на основата $P_{warp} @ 6.0 \text{ kN}$ и при

минимална вътъчна набивка - $D_d @ 300 \text{ dm}^{-1}$ се дължи предимно на голямото сцепление между обтегнатите основни нишки и вътъците с увеличени вълнообразни деформации, поради по-голямото вътъкаване. Малката вътъчна гъстина, съчетана с голямото вътъкаване на вътъчните нишки предизвиква увеличена свиваемост по вътък и вторично стъстяване на основата. Към началното еластично съпротивление на единичните кардни прежди, от които са образувани вътъците, се добавя и сцеплението между основата и вътъка. Така общия еластичен модул на Юнг се повишава.

Най-голямата стойност на еластичния модул на Юнг на двойния памучен плат по вътък $E_{waft} @ 8.0 \text{ kN}$ се получава при максималната вътъчна набивка - $D_d @ 75 \text{ dm}^{-1}$ и минимално обтягане на основата - $P_{warp} @ 3.0 \text{ kN}$. Максималното еластично съпротивление по вътък в рамките на експерименталната област се дължи предимно на максималното сцепление между основните и вътъчните нишки. Съчетанието от слабо обтегната основа и голяма вътъчна гъстина води до максимално уеднаквяване на взаимните вълнообразни деформации на вътъците и основните нишки.

В резултат на увеличеното взаимно вътъкаване, свободните дължини на вътъчните нишки са намалени, както е намалена и възможността за разтеглянето им чрез изправяне, поради увеличената вътъчна и основни гъстини. В смисъл, че възможностите за взаимни размествания на вътъчните нишки са общо намалени.

Особено впечатление прави противоречивото взаимодействие между експерименталните фактори в граничните зони.

При минимална вътъчна набивка еластичният модул $E_{waft} \uparrow$ нараства с увеличение на напреженията в основните нишки.

При максимална вътъчна набивка еластичният модул $E_{waft} \downarrow$ намалява с увеличаване на напрежението в основните нишки.

С подобна тенденция, при минимално обтягане на основата, еластичният модул $E_{waft} \uparrow$ нараства с увеличаване на вътъчната гъстина и обратно - намалява $E_{waft} \downarrow$ при максималното напрежение в основните нишки.

В крайна сметка, както при еластичното съпротивление на двойния плат по основа - E_{warp} , така и при неговото еластично съпротив-

ление по вътък E_{weft} се наблюдава област на стабилност със сравнително постоянни стойности на еластичния модул E_{weft} @4.75÷5.25 kN.

Тази област заема диагонално разположение в експерименталния план при сравнително големи стойности на експерименталните фактори, т.е. над средното ниво.

Сложното функционално въздействие на вътъчната набивка и на обтягането на основата върху еластичното съпротивление на плата обуславя равновесието между пъргавината на плата по основа и по вътък, т.е. неговата еластична изотропия, изразена чрез отношението на двата модула - $R_E = E_{warp} / E_{weft}$.

От повърхнината на отклика с практическо значение е седловината с минимални стойности на отношението между двата модула.

Тази област на относително равновесие между пъргавината по основа и по вътък на двойния памучен плат е разположена диагонално между противоположните съчетания на експерименталните фактори: максимална вътъчна набивка с минимално обтягане на основата и обратно.

Нещо повече, в една част от повърхнината на отклика се установява преобладаващо еластично съпротивление на плата по вътък, т.е. $R_E < 1.0$.

В потвърждение на зоните със стабилни стойности на еластичните модули по основа и по вътък, изотропията на двойния памучен плат също проявява стабилни нива в сравнително централната експериментална област.

Това означава, че за тази контекстура на двойния плат (сплитка и влакнест състав) тъкачният цикъл добива сравнително стабилен машинен режим при обтягане на основата - P_{warp} @4.0÷5.0 kN и при вътъчна набивка - D_d @400÷500 dm⁻¹.

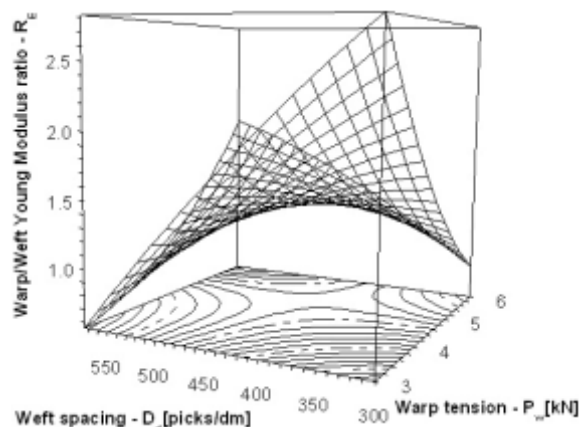
Изотропията на тъкания плат има практически смисъл, когато се разглежда в равнинно състояние.

Също така, основното свойство, чието поведение в различните посоки върху/по плата има експлоатационно значение е еластичността, която в случая е представена чрез модула на Юнг.

Абсолютна ортогонална симетрия, т.е. $R_E = E_{warp} / E_{weft} = 1.0$, не може да се постигне спрямо тъкан плат като технологично изделие.

От тази гледна точка съотношението между двете гранични еластичности: основна и вътъчна могат единствено да съставят относителна оценка за постигната изотропия с практическо значение.

На **Фигура 7** е представена повърхнината на отклика на отношението R_E на модула на Юнг по основа към модула по вътък.



Фигура 7 Повърхнина на отклика на отношението между еластичните модули по основа и по вътък за двойния памучен плат.

На първо място максималната стойност на отношението R_E @.9 се намира при максималните стойности на екстремалните фактори. Максималната вътъчна гъстина и максималното опъване на основата са технологични условия, при които тъканият плат придобива максимална плътност и хомогенност. Очевидно е, че хомогенният строеж на тъканта не е условие за равнинна изотропност. В случая влияние оказват и различният влакнест състав и механичните свойства на тъкачните нишки: единични и пресукани памучни прежди.

На второ място е ролята на средното по стойност опъване на основата P_{warp} @4.25 kN, което съвпада с централното поле на експерименталния фактор. По улея в повърхнината на отклика се очертава плавна зона на стабилност на модулното отношение R_E @1.5, което слабо нараства с увеличаване на вътъчната гъстина. Явно, при това поддържано напрежение на основните нишки, взаимното вълнообразно деформиране на основата и на вътъка има приблизително еднакви параметри при повишаване на вътъчната гъстина.

Минималната равнинна изотропия, изразена чрез отношението R_E @0.63, се дължи на

максималната вътъчна гъстина при $D_d @ 575 \text{ picks/dm}$ и на сравнително намаленото опъване на основата с $P_{\text{warp}} @ 3.0 \text{ kN}$. При същите стойности на експерименталните фактори модулът на Юнг по основа показва минимална стойност, докато модулът по вътък показва максимални стойности.

От гледна точка на едновременното удовлетворяване на технологичните и експлоатационните изисквания към плата, неговата равнинна изотропност има компромисен характер и може да състави един от показателите за оптимизация на тъкачния цикъл.

5. Заключение

След експерименталното изследване на двойния тъкан плат с памучен влакнест състав следните изводи могат да бъдат направени:

Повишаването на вътъчната гъстина води до увеличаване на хомогенното разпределение на масата в неговия многослоен обем, но не осигурява увеличаване на изотропността по основа и по вътък.

Изотропията на двойния плат в смисъл на ортогонална симетрия на еластичното съпротивление може да се постигне в някаква степен като компромисен вариант между опъването на тъкачната основа и вътъчната гъстина.

Следващото развитие на това изследване трябва да бъде съпроводено със структурен анализ на тъканта и определяне на геометричните параметри на основните нишки и на вътъците.

6. Благодарности

Авторът изразява своята благодарност и признателност към "Е. Миролио" ЕАД за оказаната подкрепа и съдействие в експерименталната работа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Morton W.E. and Hearle J.W.S., Physical Properties of Textile Fibres, Manchester & London, The Textile Institute, Butterworths, 1962, UDK 677.46.031:004.12 (in Russian), Edition "Legkaya industriya", Moscow, 1971
- [2] Kaswell Ernest R., Textile Fibers, Yarns, and Fabrics, a comparative survey of their behaviour with special reference to wool, Book Division, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1953, T-13634, (in Russian), Edition "Science-technical Literature RSFSR", Moscow, 1960
- [3] Landau L.D., Lifchitz E.M., Théorie d'élasticité, (in Russian), UDK 539.1, Nauka, Moscou, 1987
- [4] McClintock Frank and Argon Ali S., Mechanical behaviour of materials (in russian), UDC 539.30, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts, USA, 1966, Publisher "MIR", Moscow, 1970.
- [5] Salençon Jean, Mécanique des milieux continus, © Edition de l'école polytechnique, Tome 1 - Concepts Généraux, ISBN-2-7302-1245-0, 91128 Palaiseaux CEDEX, 2007.
- [6] Tzankov Tzanko Il., Theory of the plasticity (in Bulgarian), UDC 621.97(075.8), Publisher Technics, Sofia, 1969
- [7] Courraze G. and Grossiord J.L., Initiation à la rhéologie, Lavoisier - Tec&Doc, ISBN: 2-85206-660-2, Paris, 1991
- [8] Collier B.J., and Epps H.H., Textile testing and analysis. New Jersey: Pearson Education, ISBN: 0-13-488214-8, 1999.
- [9] Damyanov G., D. Germanova-Krasteva. Textile Processes: Quality Control and Design of Experiments, Momentum Press, N. Y., 2012, ISBN-13: 978-1-60650-387-4.
- [10] Patent JP2002030543 (A) - 2002-01-31, DOUBLE FACED WOVEN FABRIC, D03D11/00; D03D27/06; (IPC1-7): D03D11/00 D03D27/06.
- [11] Rahnev Ivelin, Patent D, (11) 66551 B1 (51) Int. Cl., Double woven fabric for working garment, BPO - Bulgaria, Sofia, Official bulletin No10/31.10.2016, p. 20, www.bpo.bg, Sofia, 2016.
- [12] Rahnev I., Rimini G., Utility Model D, (11) 2301 U1 (51) Int. Cl. Double woven fabric for protective garment, BPO - Bulgaria, Sofia, Official bulletin No10/31.10.2016, p. 60, www.bpo.bg, Sofia, 2016.

- [13] Rahnev Ivelin, Probabilistic localization of the yield point into the rheogram of the textile thread, ISBN 978-606-685-276-0, 15th AUTEX World Textile Conference 2015, June 10-12, 2015, Bucharest, Romania, 2015
- [14] Rahnev Ivelin, Equalized Rheology Reaction of the Twisted Blended Threads, 13th AUTEX World Textile Conference, May 22nd to 24th 2013, Dresden, Germany, ISBN 978-3-86780-343-4, Copyright ITM, TU Dresden, Germany, 2013
- [15] Rahnev Ivelin, Comparative Analysis of Single, Twisted and Sirospun Cotton Type Yarns, ISBN 978-2-7466-2858-8, 12th World Textile Conference AUTEX, 2012
- [16] Rahnev Ivelin, Spinning Torsion Influence on the Boundary Elasticity of Single Worsted Yarns, ISBN 978-2-7466-2858-8, Autex 2011, June 10th 2011, Mulhouse, p. 726 - 730, 2011 More references