УДК 685.34.07
П.С. Майдан, Г.М. Драпак, С.Л. Горященко
Хмельницький національний університет

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СИЛОВОЇ ФІКСАЦІЇ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕД СКЛАДАННЯМ У ЗАГОТОВКУ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

В статті наводиться аналітичне дослідження процесу силової фіксації деталей при складанні заготовок верху взуття за допомогою спеціальної оснастки на автоматизованих швейних машинах. Детально розглядається фіксація виробів, які складаються з одного та двох шарів матеріалу. Наведено математичні залежності та рівняння рівноваги. Ключові слова: Заготовки верху взуття, деталі верху взуття, попередня фіксація, палета.

Аналіз досліджень та публікацій

Не остання роль серед факторів, які впливають на якість готової продукції відіграє точність виготовлення заготовок верху взуття (ЗВВ). Тому необхідна точність виробу має забезпечуватись саме на етапах формування пакету деталей та його остаточного скріплення.

Забезпечення заданої точності заготовки на вказаних етапах, планується забезпечити виконанням операції попереднього фіксування деталей в пакеті.

Як відомо [1, 2] найпоширеніший спосіб фіксації пакетів деталей є силовий, з використанням спеціалізованих пристосувань – палет. У цих системах, пакет попередньо збазованих деталей затискається між двома поверхнями. Однак, усі відомі нам конструкції палет є спеціалізованим інструментом, що розраховані на використання лише максимум для трьох суміжних розмірів з усього модельного ряду [3]. Ця конструктивна особливість суттєво обмежує застосування палет в умовах малих підприємств, що сьогодні є найбільш поширеними в Україні. З метою розширення технологічних можливостей згаданих процесів авторами запропоноване універсальне пристосування [4], яке дозволяє значно розширити діапазон виробів, підвищуючи тим самим технологічну гнучкість виробництва і суттєво знижуючи собівартість продукції.

Процес попереднього формування пакету деталей за допомогою запропонованої конструкції буде реалізуватись за декілька основних етапів:

– накладання базового шару деталей на опорну поверхню, на якій розташована нижня рамка фіксуючого пристосування;

– накладання другого шару деталей на базову;

– накладання третього шару деталей;

– силова фіксація попередньо складеного пакету деталей у спеціальному пристосуванні;

– транспортування спеціального пристосування з попередньо складеним пакетом деталей на позицію остаточного скріплення;

– зшивання деталей, що попередньо зафіксовані між собою у спеціальному пристосуванні на автоматизованій швейній машині.

Ми вважаємо, що для успішної реалізації запропонованих конструктивних рішень слід більш детально розглянути цей процес. Для цього пропонується дослідити аналітичну модель процесу фіксації деталей виготовлених з матеріалів, що використовуються при виготовленні верху взуття.

Формулювання цілей статті

В даній роботі розглядається аналітична модель забезпечення якісного процесу силової фіксації елементів плоских багатошарових виробів при їх зшиванні на автоматизованій швейній машині. Зокрема досліджується точність процесу отримання виробу при використанні силової фіксації пакету деталей із застосуванням спеціальної оснастки [4].

Виклад основного матеріалу досліджень

На підставі прийнятого припущення [5], що в першому наближенні при деформуванні матеріал деталей має на діаграмі напружень початкову ділянку, для якої діє закон Гука [6, 7, 8, 9] розглянемо процес отримання ЗВВ за допомогою запропонованого пристосування і аналітично визначимо необхідне зусилля для надійної фіксації деталей при застосуванні згаданого пристосування.

© П.С. Майдан, Г.М. Драпак, С.Л. Горященко

Конструкція цього пристосування та схема фіксації деталей ЗВВ наведена на рисунку 1. Для подальших досліджень приймаємо, що ЗВВ складається з двох шарів деталей, оскільки такий варіант є найбільш поширеним [1, 2, 8], наприклад заготовка, яка утворюється з союзки та двох берців.

Всю площу пакету деталей, які попередньо фіксуються між собою силовим методом умовно поділимо на три наступних ділянки (рис.1):

- I – ділянка фіксації деталей, що накладаються (у нашому випадку – берці);
- II – ділянка фіксації деталей в зоні контуру з'єднання (берці – союзка);
- III – ділянка фіксації базової деталі (союзка).

На I та III ділянці фіксації деталей, ЗВВ розглядається як одношаровий виріб, а на II ділянці як двошаровий.

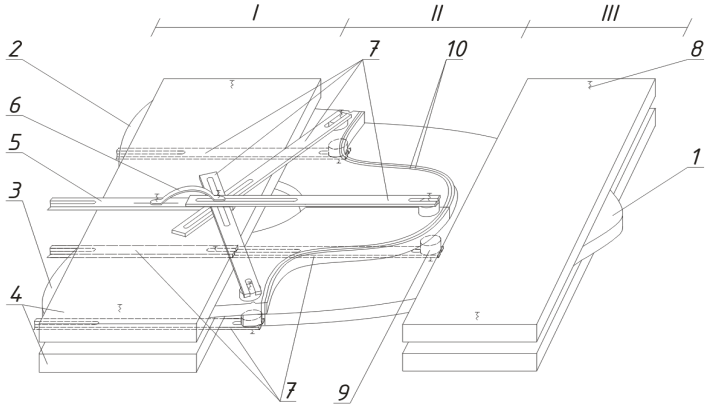

Рис. 1. Силова фіксація двошарової ЗВВ: 1 – союзка; 2, 3 – берці; 4 – опорні плити; 5 – притискна пластина; 6 – пружний елемент;7 – направляючі пластини; 8 – затискний гвинт; 9 – фіксатори циліндричної форми; 10 – зона прошиття; *I* – ділянка фіксації деталей, що накладаються; *II* – ділянка фіксації деталей в зоні контуру з'єднання; *III* – ділянка фіксації базової деталі.

Фізичні процеси, що виникають при фіксації та періодичному переміщенні деталей ЗВВ на величину стібка, на *I* ділянці зображені на рисунку 2.

Оскільки деталі фіксуються одними опорними плитами, у першому наближенні можна припустити, що сили притискання деталей 2 та 3, відповідно F_2^1 та F_3^1 на першій ділянці є рівними,

$$F_2^1 = F_3^1 = F_I .$$

Сили інерцій деталей, які накладаються F_{i2} та F_{i3} визначаються за II законом Ньютона, а прискорення пристрою і його швидкість V залежать від частоти обертання головного валу швейної машини n та довжини стібка S.

Тоді отримуємо кінцевий вираз для визначення сили інерції:

$$F_i = \frac{m \cdot S \cdot n^2}{3600} . \tag{1}$$

Сили тертя між верхньою плитою та матеріалом деталі 2 $F_{2в}^{тр}$, нижньою плитою та матеріалом деталі 2 $F_{2н}^{тр}$, верхньою плитою та матеріалом деталі 3 $F_{3в}^{тр}$, нижньою плитою та матеріалом деталі 3 $F_{3н}^{тр}$ визначається , у відповідності до прийнятих припущень [5]:

$$\begin{aligned} F_{2в}^{тр} &= \mu_{2в} \cdot N_{2в} = \mu_{2в} \cdot F_I ; \\ F_{2н}^{тр} &= \mu_{2н} \cdot N_{2н} = \mu_{2н} \cdot \left(F_I + m_2 g\right); \\ F_{3в}^{тр} &= \mu_{3в} \cdot N_{3в} = \mu_{3в} \cdot F_I ; \\ F_{3н}^{тр} &= \mu_{3н} \cdot N_{3н} = \mu_{3н} \cdot \left(F_I + m_3 g\right), \end{aligned} \tag{2}$$

де $\mu_{2в}, \mu_{2н}, \mu_{3в}, \mu_{3н}$ - коефіцієнти тертя між верхньою, нижньою плитами та деталями 2 і 3, $\mu_{2в} = \mu_{3в}$, $\mu_{2н} = \mu_{3н}$; $N_{2в}, N_{2н}, N_{3в}, N_{3н}$ - нормальні реакції в опорах; m_2, m_3 - маси 2 та 3 деталі відповідно.

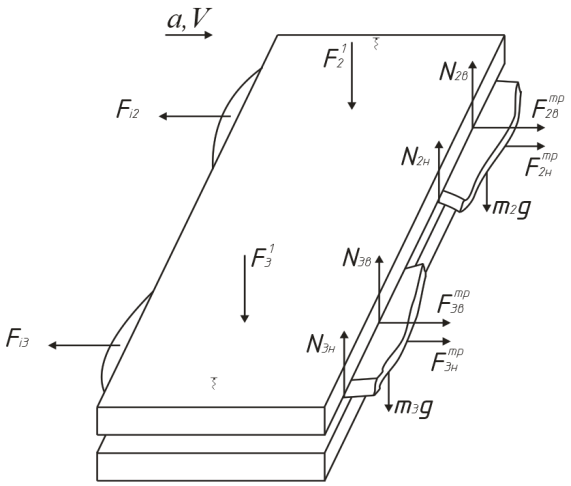

Рис. 2. Сили, що виникають при фіксації деталей ЗВВ та періодичному переміщенні деталей ЗВВ на величину стібка на *I* ділянці: F_{i2}, F_{i3} - сили інерції деталей; F_2^1, F_3^1 - сили притискання; $F_{2н}^{тр}, F_{2в}^{тр}, F_{3н}^{тр}, F_{3в}^{тр}$ - сили тертя між деталями та плитами; $N_{2в}, N_{2н}, N_{3в}, N_{3н}$ - сили нормальних реакцій.

Умова утримання деталей 2 та 3 на першій ділянці запропонованого пристосування матиме вигляд:

$$F_{2в}^{тр} + F_{2н}^{тр} + F_{3в}^{тр} + F_{3н}^{тр} \geq F_{i2} + F_{i3}. \quad (3)$$

Підставивши до рівняння (3) формули (1) та (2) отримаємо остаточну умову утримання деталей 2 та 3 в першій ділянці пристрою:

$$\mu_{2в} \cdot F_I + \mu_{2н} \cdot \left(F_I + m_2 g\right) + \mu_{3в} \cdot F_I + \mu_{3н} \cdot \left(F_I + m_3 g\right) \geq m_2 \cdot \frac{S \cdot n^2}{3600} + m_3 \cdot \frac{S \cdot n^2}{3600}. \quad (4)$$

Мінімальна сила притискання, для забезпечення умови утримання деталей 2 та 3 в запропонованому пристосуванні, на першій ділянці, буде визначатися з умови (4):

$$F_I = \frac{\frac{S \cdot n^2}{3600} \cdot \left(m_2 + m_3\right) - \mu_{2н} \cdot m_2 g - \mu_{3н} \cdot m_3 g}{\mu_{2в} + \mu_{2н} + \mu_{3в} + \mu_{3н}}. \quad (5)$$

Фізичні процеси, які виникають при фіксації деталей при переміщенні ЗВВ, на *II* ділянці зображені на рисунку 3.

Сили інерцій базової деталі F_{i1} визначається залежністю (1).

Умова утримання цієї деталі на третій ділянці запропонованого пристосування має вигляд:

$$F_{1в}^{тр} + F_{1н}^{тр} \geq F_{i1}. \quad (6)$$

Сили тертя між верхньою плитою та матеріалом базової деталі $F_{1в}^{тр}$, нижньою плитою та матеріалом базової деталі $F_{1н}^{тр}$ визначається аналогічно (2):

$$\begin{aligned} F_{1в}^{тр} &= \mu_{1в} \cdot N_{1в} = \mu_{1в} \cdot F_1^3; \\ F_{1н}^{тр} &= \mu_{1н} \cdot N_{1н} = \mu_{1н} \cdot \left(F_1^3 + m_1 g\right), \end{aligned} \quad (7)$$

де $\mu_{1в}, \mu_{1н}$ - коефіцієнти тертя між верхньою (нижньою) плитами та базовою деталлю, $\mu_{1в} = \mu_{2в} = \mu_{3в}$, $\mu_{1н} = \mu_{2н} = \mu_{3н}$; $N_{1в}, N_{1н}$ - нормальні реакції в опорах; m_1 - маса базової деталі.

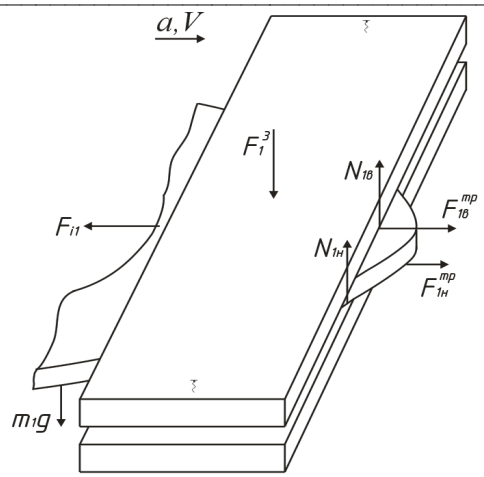

Рис. 3. Сили, що виникають при фіксації ЗВВ та періодичному переміщенні деталей ЗВВ на величину стібка на *III* ділянці: F_{i1} - сила інерції першої деталі; F_1^3 - сила притискання першої деталі на третій ділянці; $F_{1н}^{тр}, F_{1в}^{тр}$ - сили тертя між союзкою та плитами; $N_{1в}, N_{1н}$ - сили нормальних реакцій.

Підставивши в рівняння (6) формули (1) та (7) отримаємо остаточну умову утримання базової деталі на *III* ділянці універсального пристрою:

$$\mu_{1в} \cdot F_{III} + \mu_{1н} \cdot \left(F_{III} + m_1 g\right) \geq m_1 \cdot \frac{S \cdot n^2}{3600} \ , \tag{8}$$

де F_{III} - сила притискання на *I* ділянці пристосування, $F_{III} = F_1^3$.

Мінімальна сила притискання, для забезпечення умови утримання базової деталі в запропонованому пристосуванні на *III* ділянці, виражається з умови (8):

$$F_{III} = \frac{\dfrac{m_1 \cdot S \cdot n^2}{3600} - \mu_{1н} \cdot m_1 g}{\mu_{1в} + \mu_{1н}} \ . \tag{9}$$

Наступним етапом, більш детально розглянемо фізичні процеси, які будуть виникати у місці фіксації без урахування зусиль, що виникають при проколюванні шарів матеріалу деталей голкою, а саме *II* ділянку (рис. 4).

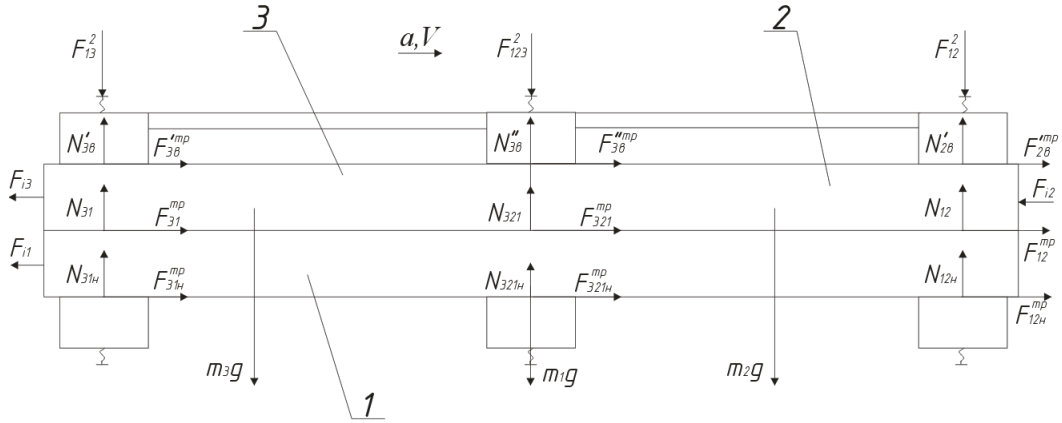

Рисунок 4 – Сили, що виникають при фіксації ЗВВ на другій ділянці: 1 – союзка; 2, 3 – берці; F_{i1}, F_{i2}, F_{i3} – сили інерції деталей; $F_{13}^2, F_{123}^2, F_{12}^2$, – сили притискання на другій ділянці; $F'^{тр}_{3в}, F_{31}^{тр}, F_{31н}^{тр}, F''^{тр}_{3в}, F_{321}^{тр}, F_{321н}^{тр}, F'^{тр}_{2в}, F_{12}^{тр}, F_{12н}^{тр}$ – сили тертя; $N'_{3в}, N_{31}, N_{31н}, N''_{3в}, N_{321}, N_{321н}$, $N'_{2в}, N_{12}, N_{12н}$ – сили нормальних реакцій.

Оскільки деталі фіксуються одними конструктивними елементами і в одній площині, то у першому наближені припустимо, що сили притискання деталей 1 і 3 F_{13}^{2} , деталей 1 і 2 F_{12}^{2} та деталей 1, 2 і 3 F_{123}^{2} на *II* ділянці є рівними, $F_{13}^{2} = F_{12}^{2} = F_{123}^{2} = F_{II}$. Також, для спрощення розрахунків, приймемо, що деталі 2 та 3, які утворюють верхній шар і з'єднуються в стик, складають один суцільний шар.

Сили тертя між деталлю 3 та верхнім фіксуючим циліндром при накладанні деталей 3 і 1 $F_{3в}'^{тр}$, деталями 3 та 1 $F_{31}^{тр}$, деталями 1, 3 та нижнім фіксуючим циліндром $F_{31н}^{тр}$, деталлю 1 та верхнім фіксуючим циліндром при накладанні деталей 1, 2 та 3 $F_{3в}''^{тр}$, деталями 3, 2 та 1 $F_{321}^{тр}$, деталями 1, 2, 3 та нижнім фіксуючим циліндром $F_{321н}^{тр}$, деталлю 2 та верхнім фіксуючим циліндром при накладанні деталей 1 і 2 $F_{2в}'^{тр}$, деталями 1 та 2 $F_{12}^{тр}$, деталями 1, 2 та нижнім фіксуючим циліндром $F_{12н}^{тр}$, відповідно до прийнятих припущень, визначаються залежностями (10):

$$F_{3в}'^{тр} = \mu_{3в}' \cdot N_{3в}' = \mu_{3в}' \cdot F_{II}; \quad F_{31}^{тр} = \mu_{31} \cdot N_{31} = \mu_{31} \cdot \left(F_{II}/2 + m_3 g \right);$$

$$F_{31н}^{тр} = \mu_{31н} \cdot N_{31н} = \mu_{31н} \cdot \left(F_{II}/2 + (m_1 + m_3) g \right); \quad F_{3в}''^{тр} = \mu_{3в}'' \cdot N_{3в}'' = \mu_{3в}'' \cdot F_{II};$$

$$F_{321}^{тр} = \mu_{321} \cdot N_{321} = \mu_{321} \cdot \left(F_{II}/2 + (m_2 + m_3) g \right); \quad F_{2в}'^{тр} = \mu_{2в}' \cdot N_{2в}' = \mu_{2в}' \cdot F_{II};$$

$$F_{321н}^{тр} = \mu_{321н} \cdot N_{321н} = \mu_{321н} \cdot \left(F_{II}/2 + (m_1 + m_2 + m_3) g \right); \quad F_{12}^{тр} = \mu_{12} \cdot N_{12} = \mu_{12} \cdot \left(F_{II}/2 + m_2 g \right);$$

$$F_{12н}^{тр} = \mu_{12н} \cdot N_{12н} = \mu_{12н} \cdot \left(F_{II}/2 + (m_1 + m_2) g \right), \tag{10}$$

де: $\mu_{1в}', \mu_{31}, \mu_{31н}, \mu_{3в}'', \mu_{321}, \mu_{321н}, \mu_{2в}', \mu_{12}, \mu_{12н}$ - коефіцієнти тертя, між лицьовою стороною шкіри та металом $\mu_{Л} = \mu_{3в}' = \mu_{3в}'' = \mu_{2в}' = 0,3$, між внутрішньою стороною шкіри та металом $\mu_{В} = \mu_{31н}, \mu_{321н}, \mu_{12н} = 0,4$, і $\mu_{Ш} = \mu_{31}, \mu_{321}, \mu_{12} = 0,5$ шкіра по шкірі; $N_{3в}', N_{31}, N_{31н}, N_{3в}'', N_{321}, N_{321н}, N_{2в}', N_{12}, N_{12н}$ - нормальні реакції в опорах; m_1, m_2, m_3 - маса першої, другої та третьої деталі (союзки та двох берців), $m_2 = m_3$.

Сили інерцій першої, другої та третьої деталей F_{i1}, F_{i2}, F_{i3} також визначаються відповідно до II закону Ньютона.

Умова утримання деталей 1, 2 та 3 на другій *II* пристосування має вигляд:

$$F_{3в}'^{тр} + F_{31}^{тр} + F_{31н}^{тр} + F_{3в}''^{тр} + F_{321}^{тр} + F_{321н}^{тр} + F_{2в}'^{тр} + F_{12}^{тр} + F_{12н}^{тр} \geq F_{i1} + F_{i2} + F_{i3}. \tag{11}$$

Тоді остаточна умова утримання деталей 1, 2 та 3 в ділянці універсального пристрою може бути визначена з виразу:

$$\mu_{Л} \cdot F_{II} + \mu_{Ш} \cdot \left(F_{II}/2 + m_3 g \right) + \mu_{В} \cdot \left(F_{II}/2 + (m_1 + m_3) g \right) + \mu_{Л} \cdot F_{II} +$$
$$+ \mu_{Ш} \cdot \left(F_{II}/2 + (m_2 + m_3) g \right) + \mu_{В} \cdot \left(F_{II}/2 + (m_1 + m_2 + m_3) g \right) + \mu_{Л} \cdot F_{II} +$$
$$\mu_{Ш} \cdot \left(F_{II}/2 + m_2 g \right) + \mu_{В} \cdot \left(F_{II}/2 + (m_1 + m_2) g \right) \geq (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \frac{S \cdot n^2}{3600}. \tag{12}$$

Мінімальна сила притискання, для забезпечення умови утримання деталей при періодичному переміщенні деталей ЗВВ на величину стібка в універсального пристрою на *II* ділянці, виражається з умови (12):

$$F_{П} = \frac{\left(m_1 + m_2 + m_3\right) \cdot \frac{S \cdot n^2}{3600} - 3 \cdot \mu_{В} \cdot m_1 g - 2 \cdot \mu_{В} \cdot (m_2 + m_3) g - 2 \cdot \mu_{Ш} \cdot (m_2 + m_3) g}{3 \cdot \mu_{Л} + 1,5 \cdot \mu_{Ш} + 1,5 \cdot \mu_{В}}. \quad (13)$$

Висновки

1. Запропоновано математичну модель процесу силової фіксації одно- та багатошарових виробів із застосуванням запропонованої конструкції фіксуючого пристрою при складанні ЗВВ на автоматизованих швейних машин.

2. Аналітично визначено умови утримання деталей в одно- та багатошарових пакетах та величину зусилля їх фіксації при періодичному переміщенні деталей ЗВВ на величину стібка у запропонованому фіксуючому пристосуванні.

3. Виведені аналітичні залежності для визначення необхідної сили фіксації деталей на кожній з ділянок фіксації, що дозволить проводити відповідне регулювання запропонованої конструкції оснастки.

1. Тонковид Л. А. Автоматизация сборочных процессов в обувном производстве / Тонковид Л. А. – К. : Техніка, 1984. – 248 с.
2. Горященко С. Л. Розробка пристроїв для автоматизованого складання плоских заготовок верху взуття: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.10 “Машини легкої промисловості” / С. Л. Горященко. – К., 2001. – 17 с.
3. П. С. Майдан Класифікація способів та методів попередньої фіксації плоских деталей верху взуття перед їх з’єднанням у заготовку / Майдан П. С., Драпак Г. М. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 3. – С. 90–95.
4. Пат. 44619 Україна, МКВ[7] А 43 D 111/00. Палета для складання багатошарових плоских виробів / Майдан П. С.; Драпак Г. М.; Горященко С. Л.; заявник та власник Хмельницький нац. ун-т. – № 200904066 ; заявл. 27.04.2009 ; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19.
5. В. В. Амбарцумов Фізична модель процесу силової фіксації пакету деталей перед їх скріпленням у заготовку / Амбарцумов В. В., Майдан П. С., Драпак Г. М. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 2. – С. 33–36.
6. Колесникова П. А. Эксплуатационные свойства тканей и современные методы их оценки / Колесникова П. А. – М. : Ростехиздат, 1960. – 475 с.
7. Кукин Г. Н. Учение о волокнистых материалах / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев – М. : Гизлегпром, 1949. – 377 с.
8. Поломошных С. П. Исследования поштучного отделения из накопителя мягких деталей верха обуви : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.13 “Машины и агрегаты” / С. П. Поломошных. – К., 1978. – 22 с.
9. Белокуров В. П. Развитие теоретических основ и разработка методов определения вязкоупругости материалов легкой промышленности в квазистатическом и динамическом резонансном режимах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.19.01 “Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности” / В. П. Белокуров. – М., 2007. – 49 с.

© П.С. Майдан, Г.М. Драпак, С.Л. Горященко