

## НЕСІВНА ЗДАТНІСТЬ СТРІЧКОВИХ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ ПРИСТОСУВАНЬ У ВИХІДНОМУ СТАНІ І З НАПРАЦЮВАННЯМ

Danilchuk E., Skripchenko V., Zemtsov M.  
G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
([danilchuk\\_ips@ukr.net](mailto:danilchuk_ips@ukr.net))

### LOAD-CARRYING CAPACITY OF THE TAPE LIFTING DEVICES IN THE INITIAL STATE AND AFTER ACCRUED OPERATING TIME

*Досліджується деформування та міцність стрічкових вантажопідйомних пристосувань різноманітного виконання при відтворенні реальних умов експлуатації. Проведені натурні випробування стропів при статичному та циклічному навантаженні і визначено вплив напрацювання на їх несівну здатність.*

*Виконано чисельне моделювання деформування синтетичних тканих стрічок досліджуваних стропів. При цьому застосовані структурні моделі деформування саржевих тканин, які побудовані на основі теорії двовісного розтягу тканих матеріалів. Ефективність моделей підтверджена задовільною кореляцією розрахункових і експериментальних даних.*

*Ключові слова:* стрічка, саржа 2/2, напрацювання, тривала міцність, несівна здатність, деформування, чисельне моделювання.

#### Вступ

Стрічкові вантажопідйомні пристосування (СВП) є одними з найбільш універсальних пакетоутворюючих засобів. Їх широко використовують для мішкових вантажів, тюків, коробок, ящиків та деяких неупакованих вантажів. У порівнянні з піддонами СВП мають три основних переваги: не займають корисного об'єму вантажних приміщень або транспортних засобів; застропка та відстропка пакетів при перевантаженні кранами набагато простіша і зручніша, ніж при використанні піддонів, вони можуть одночасно піднімати велику кількість пакетів. Крім того, стрічкові вантажопідйомні пристосування є більш доступними та дешевшими. Найбільш ефективні безповоротні СВП при перевезенні за схемою «від дверей до дверей».

У таких стрічкових системах власне стрічки відіграють подвійну функцію: з одного боку, за їх допомогою формується транспортний пакет, а, з іншого, вони являються несівними елементами, що сприймають вагу пакета вантажів у технологічних циклах.

При використанні таких засобів кріплення вантажів необхідно забезпечити гарантовану міцність і надійність експлуатації виробу протягом обмеженого терміну служби з можливістю здійснення певного регламентованого числа робочих циклів. Визначення кількості циклів і допустимого навантаження на СВП здійснюється або розрахунковим шляхом на основі даних про міцність стрічки в початковому стані з використанням коефіцієнта запасу міцності, або емпіричним шляхом – на основі результатів випробувань одноразових і багаторазових вантажних систем аналогічного призначення [1].

З поміж факторів, що впливають на зниження міцності і зміну деформаційних характеристик тканих синтетичних стрічок, відмітимо як найбільш суттєві рівень навантаження і тривалість його дії. Для стропів, що розглядаються характерні наступні етапи транспортно-складських операцій:

- навантаження до максимального рівня під час підйому вантажу;
- переміщення в навантаженому стані;
- розвантаження.

При цьому накопичення пошкоджень у стрічках, що обумовлює загальне зниження несівної здатності стропів, найбільш інтенсивно відбувається саме на другій фазі перевантажувального циклу.

#### Об'єкти досліджень

В якості об'єктів дослідження були обрані стрічкові вантажопідйомні пристосування, виготовлені на ВАТ «Київхімволокно». Характерною особливістю СВП є його виготовлення з суцільного відрізка стрічки, яка одночасно є формоутворюючим та несівним елементом вантажопідйомного пакету (рис. 1).

Кінці стрічки зшиті на ділянці довжиною 700 мм, яка розміщується в нижній частині стропа під вантажем. Стропи виготовлено з поліпропіленових стрічок, основні характеристики яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні характеристики досліджуваних СВП

Характеристика		СВП-1	СВП-2
Ширина стрічки, мм		68	50
Матеріал	Основа	поліпропілен	поліпропілен
	Уток	поліамід	поліефір
Лінійна густина, текс	Основа	400	1000
	Уток	250	200,4
Кількість ниток по основі		86	38
Кількість ниток по утку, на 10 мм		8	7,6
Тип переплетення		саржа 2/2	саржа 2/2
Допустима експлуатаційна вантажопідйомність, кН		21	21

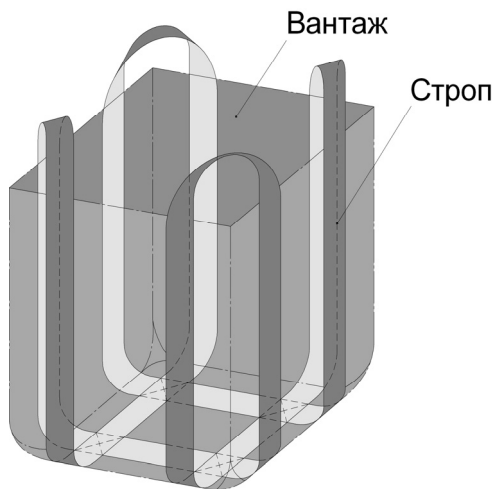


Рис. 1. Стрічкове вантажопідйомне пристосування

**Експериментальна методика та результати**

Методика натурних випробувань пакетоутворюючих стропів моделювала реальні умови їх експлуатації. Було прийнято, що в процесі використання стропа число циклів «навантаження-розвантаження» не перевищує 10, а час витримки під навантаженням не перевищує 300 с. Для проведення натурних випробувань стропів використовували жорсткий сталевий контейнер коробчастої конструкції, який відповідає габаритам пакету вантажів. На нижній і верхній розпірних рамах у місцях обхвату їх стрічками були закріплені дерев'яні накладки з направляючими пазами із заокругленням  $R=120$  мм.

Способи навантаження досліджуваних стропів СВП-1 і СВП-2 відрізнялись. Для підйому контейнера СВП-1 з вантажем використовували електротельфер вантажопідйомністю 50 кН. Петлі пакетуючого стропа накидалися на гаки сталевого симетричного чотирьохвиткового стропа, який було підвішено на гак тельфера. При встановленні на гак стрічки петель стропа складались удвічі. Рівень навантаження стропа (вага вантажу з урахуванням маси контейнера) вимірювали динамометром ДПУ-5 з ціною поділки 1 кН. При навантаженні стропа несівні стрічки мали можливість проковзувати в пазах накладок розпірних

рам контейнера, забезпечуючи тим самим симетрію розподілення і врівноваженість прикладених до стропу зусиль.

Навантаження стропів здійснювали за трапецеївидним циклом з витримкою при максимальному зусиллі  $P_{max} = 26$  кН, 32 кН, 36 кН або 42 кН протягом часу  $t_{випр} = 180$  або 300с і числом циклів навантаження  $N_{ци} = 10$ . Усього було проведено 6 випробувань з різним навантаженням і витримкою. При цьому жоден з досліджуваних стропів не зруйнувався.

Далі випробування проводились в два етапи – попереднє напрацювання ( $N_{ци} = 10$ ,  $t_{випр} = 300$ с,  $P_{max} = 26$  кН або 32 кН) та циклювання до розриву при навантаженні 42 кН. За результатами випробувань досліджувані пакетоутворюючі стропа СВП-1 зруйнувались лише після 15 циклів навантаження-розвантаження при зусиллі, що перевищує допустиме експлуатаційне в 2 рази.

Вплив експлуатаційного напрацювання на міцність стрічки визначали на зразках, що були вирізані зі стропів після їх випробувань по наведеній вище програмі. Зразки вирізали з найбільш навантажених ділянок стропа.

Стрічки у вихідному стані і з напрацюванням випробували на статичний розтяг у жорсткому режимі навантаження (швидкість руху пересувної траверси – 180 мм/хв). Відносна похибка визначення рівня навантаження  $\pm 1\%$ . Довжина робочої частини зразка – не менше 200 мм. Отримані значення руйнівних навантажень  $P_{руйн}$  для двох груп зразків наведені в таблиці 2.

Для зразків стрічки з напрацюванням має місце суттєве зниження міцності (до 20 %) і більш значне розсіяння результатів.

Таблиця 2

Результати випробування стрічки у вихідному стані і після наробітку

Стан зразка	Руйнівне навантаження $P_{руйн}$ , кН
Вихідний	11,2
Після наробітку	9,0

Для дослідження тривалої міцності стрічок СВП-1 зразок непошкодженої стрічки навантажувалася згідно наперед прийнятого значення  $P$  і витримувалася в такому стані до руйнування. Дослідження проводили на випробувальній машині Instron-1126 при рівнях навантаження, близьких до граничних розривних. Реєстрували час від моменту досягнення зусиллям визначеної величини до руйнування. Зниження навантаження внаслідок прояву ефектів в'язкопружності полімерного матеріалу стрічки компенсували відповідним довантаженням в автоматичному режимі. На рис. 2 наведено графік, який характеризує залежність часу до руйнування від рівня навантаження.

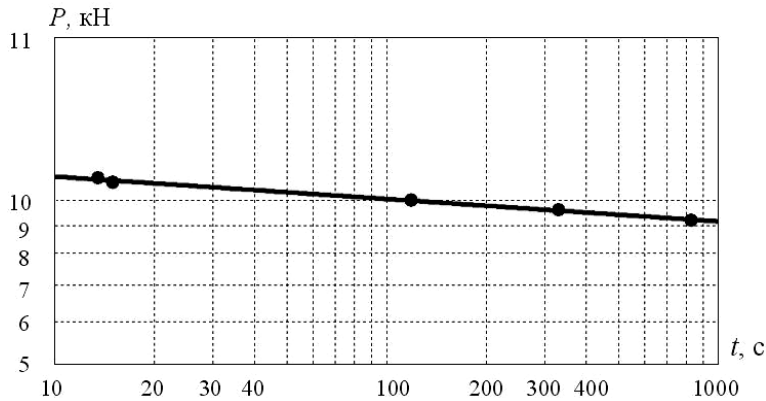


Рис. 2. Діаграма тривалої міцності стрічок

Побудована в логарифмічній системі координат діаграма тривалої міцності описується наступним співвідношенням

$$\lg(P) = \frac{1}{a} \cdot \lg(t) + \lg b, \quad (1)$$

де  $t$  – час до руйнування,  $a = -24,237$ ,  $b = 12,168$  – параметри апроксимації.

Після потенціювання співвідношення (1) одержуємо вираз, що дозволяє обчислити час до руйнування стрічок за наявності процесів повзучості

$$t = 10^{a \lg(P/b)}. \quad (2)$$

Дослідження міцності пакетують стропів СВП-2 проводили на випробувальному стенді “ВИСТ-15”. Його розроблено для дослідження міцності і деформаційних властивостей високоміцних великогабаритних виробів на основі мультифіламентних структур при статичному і циклічному навантаженні. Загальний вигляд стенду та встановленого для проведення випробувань СВП-2 наведено на рис. 3.

При випробуваннях максимальні значення зафіксованих руйнівних зусиль СВП-2 перевищували допустимі експлуатаційні в 4,3-4,5 рази. Спочатку була визначена максимальна несівна здатність стропів за умов статичного навантаження (зразок №1 таблиці 3).

Після цього було випробувано два вироби при циклічному навантаженні з трикутною і трапецеїдалною формою циклу зміни навантаження: зразок №2 навантажувалася циклічно без витримки при максимальному зусиллі при числі циклів навантаження  $N_{цик} = 10$ , потім навантаження монотонно збільшувалось до моменту руйнування СВП; зразок №3 у процесі циклічного навантаження на тій же базі циклів ( $N_{цик} = 10$ ) витримувалася при максимальному зусиллі 120 с і тільки після цього навантаження збільшувалось до руйнівного. Результати випробувань СВП наведені в таблиці 3. У всіх випадках руйнування відбувалось на похилих ділянках стрічок СВП між розпірною рамою короба і точками закріплення стрічок на гаках навантажувального пристрою.

З наведених у таблиці даних випливає, що циклічне навантаження виробу СВП-2 зусиллям, що дорівнює максимальному експлуатаційному рівню, на базі циклів  $N_{цик} = 10$  призводить до помітного (в межах 3-4 кН) зниження залишкової міцності стропів. В реальних умовах експлуатації зниження запасу міцності виробу може бути більш суттєвим у зв'язку з більш подовженим періодом витримки СВП під навантаженням у процесі виконання перевантажувальних робіт, а також за рахунок динамічних перевантажень у початковий момент підйому вантажу в межах 6-18 %.

Таблиця 3

## Програма навантажень і результати випробувань СВП-2

Зразок СВП-2	Програма навантаження	Результат випробувань	Коефіцієнт запасу міцності
№1	Статичне навантаження до руйнування	$P_{руйн} = 95,0$ кН	4,5
№2	Циклічне навантаження до максимального зусилля $P_{max} = 21$ кН, число циклів $N = 10$ , послідує навантаження до руйнування	$P_{руйн} = 91,2$ кН	4,3
№3	Циклічне навантаження до максимального зусилля $P_{max} = 21$ кН, витримка при максимальному зусиллі $t = 120$ с, число циклів $N = 10$ , послідує навантаження до руйнування	$P_{руйн} = 92,1$ кН	4,4

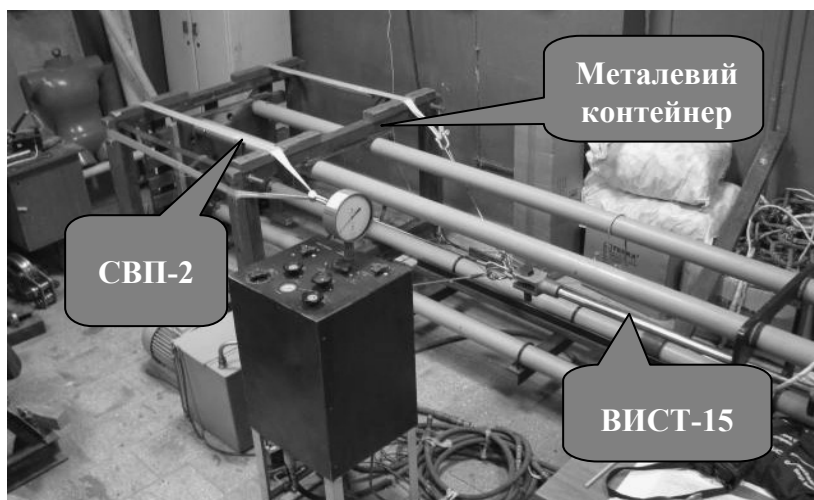


Рис. 3. Випробування СВП-2 на стенді «ВИСТ-15»

### Модельовання процесів деформування синтетичних стрічок

В роботі проведено моделювання деформаційної поведінки тканих стрічок досліджуваних стропів СВП-2.

При прогнозуванні механічної поведінки тканих матеріалів основні труднощі виникають насамперед з істотними нелінійними залежностями, що описують діаграми пружного деформування ниток, а також з необхідністю врахування зміни структури тканини при навантаженні.

Тип ткані структури визначається порядком взаємного перекриття поздовжніми нитками основи поперечних ниток утка. Це впливає на утворення тканини з характерною для даного переплетення геометрією, зовнішнім виглядом і механічними властивостями.

Досліджувані стрічки СВП-2 утворені саржевим переплетенням 2/2, в якому нитки основи та утка повторюються дві через дві.

На даний момент розроблено достатньо моделей, що описують деформаційну поведінку тканих матеріалів. Заслужують на увагу роботи F. T. Peirce [2], S. Kawabata [3, 4], J. W. S. Hearle [5], V. Carvelli [6], P. Boisse [7], M. J. King [8] та інших. Однак, існуючі моделі або занадто складні і потребують визначення

великої кількості параметрів, або мають ряд певних обмежень, що не завжди дозволяють отримати необхідні результати.

В даній роботі для прогнозування процесів деформування тканих стрічок пакетують стропів залучені два варіанти чисельних моделей. Зокрема, використовується модель двовісного деформування саржевих тканин, побудована на основі теорії двовісного розтягу тканих матеріалів, в якій нитки вважаються ідеально гнучкими та стискуваними елементами, а також застосована спрощена структурна модель, в якій при деформуванні врахований зсув поперечних ниток, зміщення осі нитки та її видовження. Дані структурні моделі детально описані в роботах [9, 10].

Досліджувана стрічка являє собою двовимірний тканій матеріал утворений системою із двох ниток (із різних матеріалів), переплетених в двох взаємно перпендикулярних площинах. Характеристики даної стрічки наведені раніше в табл. 1. Для подальших розрахунків за вказаними моделями необхідне визначення також щільності ниток  $n_{01}, n_{02}$  (кількості ниток основи і утка на одиницю довжини стрічки), а також відповідної усадки ниток  $S_{01}, S_{02}$ , обумовленої процесом ткацтва. Для досліджуваної стрічки стропів СВП-2:

- щільність ниток –  $n_{01} = 7,28 \text{ см}^{-1}$ ,  $n_{02} = 3,59 \text{ см}^{-1}$ ;
- усадка ниток –  $S_{01} = 0,0089$ ,  $S_{02} = 0,2078$ .

Для подальшого розрахунку механічної поведінки стрічки були проведені експериментальні дослідження процесів деформування ниток, що формують дану тканину. Випробування проводились за жорсткого режиму навантаження з постійною швидкістю переміщення захватів, рівною 200 мм/хв.

Нижче наведено діаграми деформування поліпропіленової нитки основи та поліефірної нитки утка в зручних для подальшого використання в координатах  $F_{yi}(\lambda_{yi})$  (рис. 4).

Тут в якості міри деформації, як прийнято в теорії деформування тканин, використовується кратність видовження  $\lambda_i$

$$\lambda_i = \frac{l_i}{l_0} = 1 + \varepsilon_i, \quad (i = 1, 2), \quad (3)$$

де  $\lambda_1, \lambda_2$  – кратність видовження тканини в напрямках основи і утка,  $\epsilon_i$  – відповідні деформації в цих напрямках,  $\lambda_{y1}$  і  $\lambda_{y2}$  – кратність видовження ниток основи і утка.  $F_{y1}, F_{y2}$  – значення відповідних зусиль для ниток.

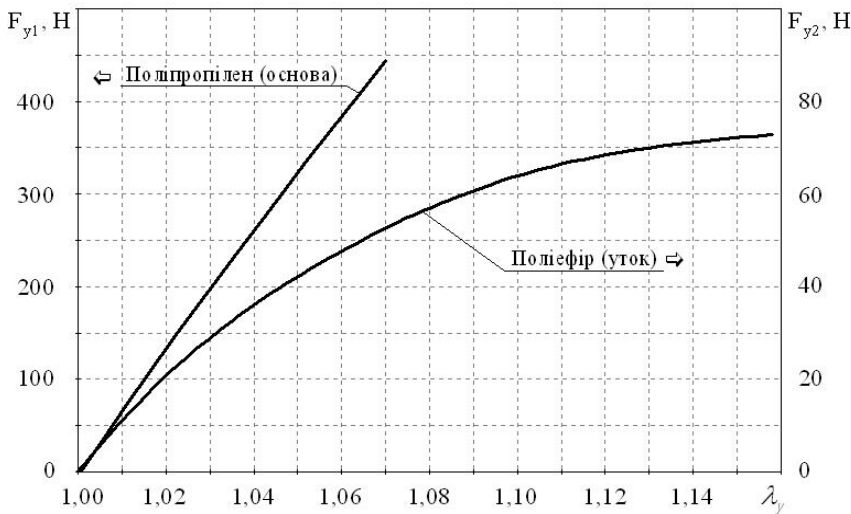


Рис. 4. Діаграми деформування поліпропіленової та поліефірної ниток

такими, що не стискаються під впливом поперечних ниток утка.

На наступному рисунку представлені результати прогнозування механічної поведінки досліджуваної стрічки за обома вищезгаданими моделями, а також наведена експериментально отримана діаграма деформування стрічки. Точками відмічені експериментальні дані, суцільною лінією – результати чисельного розрахунку за допомогою теорії двовісного розтягу саржевих тканин, штриховою лінією – результати чисельного розрахунку спрощеної структурної моделі деформування тканин саржевого переплетення.

Абсолютні значення зусиль  $F_1$ , що виникають на кінцях ниток основи при деформуванні тканини, у відповідності з прийнятими стандартами були перераховані у відносні сили  $f_1$ , що діють на одиничну ширину стрічки, наступним чином

$$f_1 = n_{o1} F_1. \quad (4)$$

Як видно, розрахунки за обома моделями деформування саржевих тканин задовільно узгоджуються з експериментальними даними досліджуваних стрічок, хоча між ними і є певні розходження.

#### Висновки

Проведені натурні випробування одноразових синтетичних стрічкових вантажопідійомних пристосувань в умовах циклічного навантажування показали, що останні витримують не менше 15 циклів навантаження-витримка-розвантаження при максимальному зусиллі, що перевищує допустиме експлуатаційне в 2 рази. Результати статичних випробувань свідчать, що максимальні значення руйнівних зусиль СВП перевищують допустимі в 4,3...4,5 рази.

Попереднє циклічне напруження виробів при максимальному експлуатаційному рівні призводить до зниження залишкової міцності стропів в межах 3-4 кН. При цьому в реальних умовах зниження запасу міцності може бути більш значним за рахунок динамічних перевантажень, більш тривалих періодів витримки та можливих конструкційних недоліків.

Деформаційна поведінка синтетичних стрічок пакетуютьуючих стропів при статичному навантаженні задовільно описується за допомогою розроблених чисельних моделей, побудованих на основі теорії двовісного розтягу тканих матеріалів.

Експериментально отримані нелінійні діаграми деформування  $F_{yi}(\lambda_y)$ , а також основні структурні характеристики стрічки, такі як щільність та усадка ниток основи і утка, використовуються як вхідні параметри зазначених моделей.

Слід звернути увагу на особливості будови досліджуваного стропу, а саме на те, що поліефірна уточна нитка набагато менша за основну нитку і використовується лише для підтримання цілісності конструкції.

Таким чином, вона не справляє істотного впливу на нитки основи і тому при розрахунках вони умовно приймаються

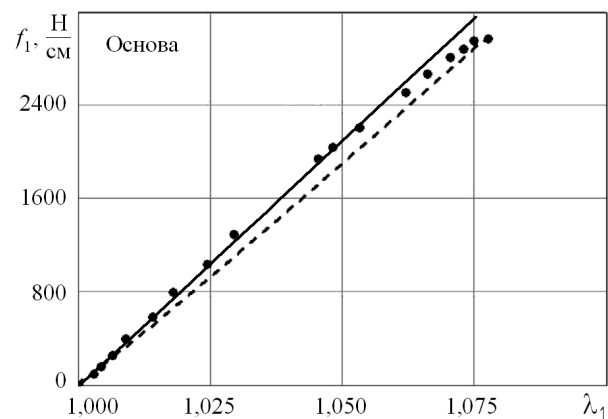


Рис. 5. Розрахунок деформування стрічки пакетуютьуючих стропів

**Аннотация.** Исследуется деформирование и прочность ленточных грузоподъемных приспособлений различного исполнения при воспроизведении реальных условий эксплуатации. Проведены натурные испытания стропов при статическом и циклическом нагружении и определено влияние наработки на их несущую способность.

Выполнено численное моделирование деформирования синтетических тканых лент исследуемых стропов. При этом применены структурные модели деформирования саржевых тканей, построенные на основе теории двухосного растяжения тканых материалов. Эффективность моделей подтверждена хорошей корреляцией расчетных и экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** лента, саржа 2/2, наработка, длительная прочность, несущая способность, деформирование, численное моделирование.

**Abstract.** Deformation and strength of the tape lifting devices of various designs in the implementation of real operating conditions are investigated. Actual tests of slings under static and cyclic loading are conducted, and the effect of overloading on their carrying capacity is determined.

Tests of disposable synthetic tape lifting devices under cyclic loading have shown that they can withstand at least 15 cycles of loading-stay under load-unloading at the maximum load that exceeds the allowable operational value in 2 times. The results of static tests indicate that maximum destructive loads exceed the allowable ones in 4,3 ... 4,5 times.

Numerical modeling of deformation of woven synthetic tapes of investigated slings is carried out. The structural models to predict the deformation behavior of twill weaves are applied. These models are developed on the basis of the biaxial tension theory of woven fabrics. Experimental nonlinear deformation curves of threads and the main structural characteristics of the tapes are used as input parameters of the models. Efficiency of the models is proved by a good correlation between calculated and experimental data.

**Keywords:** tape, 2/2 twill weave, operating time, long-term strength, load-carrying capacity, deformation, numerical modeling.

1. Лаврушин Г. А. Работоспособность лент и канатов из синтетических нитей. – Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 1991. – 202 с.
2. Peirce F. T. The geometry of cloth structure // Journal of the Textile Institute Transactions. – 1937. – Vol. 28, Issue 3. – P. 45–96.
3. Kawabata S. The Finite-deformation Theory of Plain-weave Fabrics, Part I: the Biaxial-Deformation Theory / S. Kawabata, M. Niwa, H. Kawai // Journal of the Textile Institute. – 1973. – Vol. 64, Issue 1. – P. 21–46.
4. Kawabata S., Niwa M. A Finite-Deformation Theory of the 2/2-Twill Weave Under Biaxial Extension // Journal of the Textile Institute. – 1979. – Vol. 70, Issue 10. – P. 417–426.
5. Hearle J. W. S. Modelling fabric mechanics / J. W. S. Hearle, P. Potluri, V. S. Thammandra // Journal of the Textile Institute. – 2001. – Vol. 92, Issue 3. – P. 53–69.
6. Carvelli V. Monofilament technical textiles: An analytical model for the prediction of the mechanical behaviour // Mechanics Research Communications. – 2009. – Vol. 36, Issue 5. – P. 573–580.
7. Boisse P. Analyses of fabric tensile behaviour determination of the biaxial tension–strain surfaces and their use in forming simulations / P. Boisse, A. Gasser, G. Hivet // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2001. – Vol. 32, Issue 10. – P. 1395–1414.
8. King M. J. A continuum constitutive model for the mechanical behavior of woven fabrics / M. J. King, P. Jearanaisilawong, S. Socrate // International Journal of Solids and Structures. – 2005. – Vol. 42, Issue 13. – P. 3867–3896.
9. Данильчук Є. Л. Структурна модель двовісного деформування саржевих тканин // Вісник НТУУ «КПІ» Машинобудування. – 2011. – Том 63. – С. 10–15.
10. Kucher N.K., Danil'chuk E.L. Deformation analysis of 2/2 twill weave fabrics // Strength of Materials. – 2012. – Vol. 44, №1. – P. 72–80.

## REFERENCES

1. Lavrushin G. A. Rabotosposobnost' lent i kanatov iz sinteticheskikh nitej (Working capacity of tapes and ropes of synthetic fibers). Vladivostok : Izd-vo Dal'nevost. un-ta, 1991. 202 p.
2. Peirce F. T. The geometry of cloth structure. Journal of the Textile Institute Transactions. 1937. Vol. 28, Issue 3. P. 45–96.
3. Kawabata S., M. Niwa, H. Kawai. The Finite-deformation Theory of Plain-weave Fabrics, Part I: the Biaxial-Deformation Theory. Journal of the Textile Institute. 1973. Vol. 64, Issue 1. P. 21–46.
4. Kawabata S., Niwa M. A Finite-Deformation Theory of the 2/2-Twill Weave Under Biaxial Extension. Journal of the Textile Institute. 1979. Vol. 70, Issue 10. P. 417–426.
5. Hearle J. W. S., P. Potluri, V. S. Thammandra. Modelling fabric mechanics. Journal of the Textile Institute. 2001. Vol. 92, Issue 3. P. 53–69.
6. Carvelli V. Monofilament technical textiles: An analytical model for the prediction of the mechanical behaviour. Mechanics Research Communications. 2009. Vol. 36, Issue 5. P. 573–580.
7. Boisse P., A. Gasser, G. Hivet. Analyses of fabric tensile behaviour determination of the biaxial tension–strain surfaces and their use in forming simulations. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2001. Vol. 32, Issue 10. P. 1395–1414.
8. King M. J., P. Jearanaisilawong, S. Socrate. A continuum constitutive model for the mechanical behavior of woven fabrics. International Journal of Solids and Structures. 2005. Vol. 42, Issue 13. P. 3867–3896.
9. Danil'chuk E.L. Strukturna model' dvovisnogo deformuvannja sarzhevih tkanin (The structural model of biaxial deformation of twill weave fabrics). Journal of Mechanical Engineering of NTUU «KPI». 2011. Vol. 63. P. 10–15.
10. Kucher N.K., Danil'chuk E.L. Deformation analysis of 2/2 twill weave fabrics. Strength of Materials. 2012. Vol. 44, No.1. P. 72–80.