

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Серія «Технічні науки»

№ 1 (94), 2016

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2016

Засновником журналу «ВІСНИК Київського національного університету технологій та дизайну» є

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР)

**№1 (94)
2016**

Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB №19330–9130 ПР від 08.08.2012р.

Свідectво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002р.

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України. Наказ МОН України від 13.07.2015 № 747 (додаток 17, рішення щодо продовження) – фаховість із технічних та економічних наук.

ISSN 1813-6796

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція) 22.12.2004р.

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИНЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar

Засновник і видавець:

Київський національний університет технологій та дизайну
Україна, 01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2

Головний редактор:

Грищенко І.М., д.е.н., професор, член-кореспондент НАПН України

Заступник

головного редактора:

Каплун В.В., д.т.н., професор

Київський національний університет технологій та дизайну є членом Асоціації університетів текстильного профілю (Autex) з 2006 року

Київський національний університет технологій та дизайну – повний індивідуальний член Асоціації Європейських університетів (EUA) з 20 жовтня 2005 року

Тематична спрямованість журналу «Вісник КНУТД»: Мехатронні системи. Енергоефективність та ресурсозбереження. Матеріалознавство, швейне і текстильне виробництво. Метрологія та сертифікація. Технології хімічні, біологічні, фармацевтичні. Дизайн та мистецтвознавство.

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. 1, к. 1-0252

тел./факс: +38 (044) 256-29-86

e-mail: vistnuk@knutd.com.ua

<http://vistnyk.knutd.com.ua/>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 7 від 30.03.2016 р.

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

BULLETIN

**of the KYIV NATIONAL UNIVERSITY
of TECHNOLOGIES and DESIGN**

Technical Science Series

№ 1 (94), 2016

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2016

The owner of «BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design» is

KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR)

**№1 (94)
2016** The state registration of print media is KB № 19330-9130 ІП, originating date 08.08.2012

License for publishing activity is ДК №993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine:

- № 747, originating date 13.07.2015. Fields: technological, economical.

ISSN 1813-6796 The journal is registered in ISSN International Centre, Paris, originating date is 22.12.2004

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, ПИИЛ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar

**Owner and
Publisher:** Kyiv National University of Technologies and Design
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str.

Editor-in- Chief: **Ivan M. Gryshchenko** - Dr., professor, Corresponding Member of NAPS of Ukraine

Deputy Editor: **Viktor V. Kaplun** - Dr., professor

Kyiv National University of Technologies and Design is the member of the Association of Universities for Textiles (AUTEX) since 2006

Kyiv National University of Technologies and Design is the general member of European University Association (EUA) since 20 October, 2005

Scientific fields: Mechatronic Systems. Energy Efficiency & Resource Saving. Materials Science. Textile and Apparel Manufacturing. Metrology, testing and quality certification. Chemical, Biological & Pharmaceutical Technologies, Design & Art Appreciation.

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

EDITORIAL OFFICE:

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str., office 1-252

Tel./fax: +38 (044) 256-29-86

e-mail: vistnuk@knutd.com.ua

<http://vistnyk.knutd.com.ua/>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 7, originating date 30.03.2016

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

ЗМІСТ

МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

1.	РОЗОВ Ю. Г. Анализ и виды потери продольной устойчивости тонкостенной цилиндрической оболочки при осевом сжатии	11
2.	САННИКОВ В.Ю., КІВА І.Л. Термоелектричний термометр з самокорекцією	20
3.	РУБАНКА М.М., МІСЯЦЬ В.П. Експериментальні дослідження динаміки роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості	27
4.	МІСЯЦЬ В. П. Вибір параметрів двопоточного лобового фрикційного варіатора	37
5.	ПАСІЧНИК П.О., ШВАЧКО Н.А., БІЛАН Р.В., МИРОНОВА Л.О. Підвищення ефективності повітряних геліосистем за рахунок енергії вітру	43
6.	МУЗИЧИШИН С.В., ПІПА Б.Ф., ШИПКО Д.О. Експериментальні дослідження впливу пристрою зниження динамічних навантажень на динамічні навантаження привода круглов'язальної машини	49
7.	РОЗЛОМІЙ І.О. Виявлення та нейтралізація загроз безпеки електронних документів на основі аналізу їх життєвого циклу	57
8.	ЧАБАН В.В., ПІПА Б.Ф., ЧАБАН О.В. Удосконалення привода в'язальної каретки рукавичного автомата	65
9.	КРУТИЙ Ю.С., СУР'ЯНИНОВ Н.Г. Точное решение дифференциального уравнения устойчивости равновесия упругого стержня с произвольной непрерывной переменной жесткостью	72
10.	ПРИЙМАК О.В., ПАСІЧНИК П.О. Дослідження тепловіддачі абсорбера сонячного повітропідігрівача виготовленого з гофрованої вуглеграфітового трикотажного полотна	85
11.	ПЛЕШКО С.А., КОВАЛЬОВ Ю. А. Удосконалення привода в'язальної машини з лобовим фрикційним варіатором	92
12.	СУР'ЯНИНОВ Н.Г., ШВАГИРЕВ П.А., ШОТАДЗЕ Г.Б. Математическая модель трубопровода в виде неразрезной балки с применением метода граничных элементов	97

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО, ШВЕЙНЕ ТА ТЕКСТИЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО.
МЕТРОЛОГІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ**

- | | | |
|-----|--|-----|
| 13. | ПАВЛІК М.В., ЧЕРТЕНКО Л.П., КЕРНЕСИ В.П., ГАРКАВЕНКО С.С. Розробка просторового дизайну дитячого взуття на основі раціональних колодок в середовищі Delcam Crispin | 104 |
| 14. | ТУЛУЧЕНКО Н.В., ЧУРСІНА Л.А. Обґрунтування вибору технологічних параметрів процесу м'яття для перероблення стебел соломи лону олійного | 113 |
| 15. | СЕБКО В.В., ЗДОРЕНКО В.Г. Метод неруйнівного контролю зразка водного розчину адипинової кислоти | 121 |
| 16. | ХІМІЧЕВА Г.І., РОГОВЦЕНКО В.М. Вибір та обґрунтування механізмів та інструментів прийняття рішень в умовах функціонування системи управління якістю | 128 |

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНІ, БІОЛОГІЧНІ, ФАРМАЦЕВТИЧНІ

- | | | |
|-----|--|-----|
| 17. | РЕЗАНОВА Н.М., САВЧЕНКО Б.М., КОРШУН А.В., ДЗЮБЕНКО Л.С., САП'ЯНЕНКО О.О., ГОРБИК П.П. Морфологія нанонаповнених сумішей поліпропілен/співполіамід | 134 |
|-----|--|-----|

ДИЗАЙН ТА МИСТЕЦТВОЗНАВСТВО

- | | | |
|-----|--|-----|
| 18. | ПАРАНЬКО Н.П., НІКОЛАЄВА Т.В. Дослідження структури форми українського народного костюма на основі аналізу творчої спадщини етнографа Домініка Де Ля Фліза | 140 |
| 19. | КРАВЧУК К. І., КОЛОСНІЧЕНКО О.В. Модернізація жіночих українських корсеток на основі методу біотектонічних перетворень | 147 |

УДК 621.98.043

РОЗОВ Ю. Г.

Херсонський національний технічний університет

АНАЛИЗ И ВИДЫ ПОТЕРИ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННОЙ ЦИЛИНДРИ- ЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ

Цель. Определить параметры и условия, влияющие на возникновение кольцевых складок и продольного изгиба тонкостенной цилиндрической оболочки при осевом сжатии.

Методика. Для достижения поставленной цели в статье используются аналитические методы анализа напряжённо-деформированного состояния сжатой оболочки (решение уравнений равновесия; определение критической нагрузки сжатия в области упругих и пластических деформаций).

Результаты. Получены формулы для расчёта величины критического меридионального напряжения по условию потери осевой устойчивости сжатых оболочек с образованием кольцевых складок (поперечных волн). Определены условия перехода от образования кольцевой складки к продольному изгибу и получена формула для определения предельной длины сжатой тонкостенной цилиндрической оболочки.

Научная новизна. На основе анализа продольной устойчивости при сжатии трубчатой тонкостенной оболочки найдено аналитическое решение и определены следующие параметры: критическое значение осевой силы, предельные значения длины оболочки по условию перехода от образования кольцевых складок к возникновению продольного изгиба; предложены аналитические зависимости для определения указанных параметров. Определены характер и степень влияния коэффициента Пуассона на процесс складкообразования при осевом сжатии оболочек.

Практическая значимость. Результаты анализа рекомендованы к использованию при проведении проектно-прочностных расчётов нагруженных инженерных конструкций, а также при проектировании операций листовой штамповки трубчатых заготовок (например, для расчёта усилия «проталкивания» при обжиге, раздаче).

Ключевые слова: цилиндрическая оболочка, кольцевая складка, продольный изгиб, предельная длина, меридиональное напряжение, инженерная конструкция, листовая штамповка.

Введение. При осевом сжатии тонкостенных цилиндрических оболочек, возможно два вида потери продольной устойчивости с локальным изменением цилиндрической формы заготовки, а именно:

- образование кольцевой складки (рис. 1, а);
- продольный изгиб (искривление продольной оси заготовки) (рис. 1, б).

Факторы, оказывающие влияние на процесс складкообразования, к сожалению, изучены не достаточно, а рекомендации носят приближённый характер и не подкреплены соответствующими аналитическими зависимостями, удобными для инженерных расчётов.

Согласно классической теории, величина критического радиального напряжения $\sigma_{\rho}^{\max}$, при котором наступает кольцевое складкообразование, определяется по формуле [1]:

$$\sigma_{\rho}^{\max} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \frac{S_3}{R_3}, \quad (1)$$

где: E - модуль Юнга;

ν - коэффициент Пуассона;

S_3 - толщина, а R_3 - радиус оболочки.

Однако результаты экспериментов показывают, что осевое (меридиональное) напряжение, соответствующее началу складкообразования при упругих деформациях, имеет величину, в 3-4 раза меньшую критического напряжения, определяемого по формуле (1).

Кроме того, знание величины критического радиального напряжения $\sigma_\rho^{\max}$, возникающего в стенках, позволит определить, при каком значении относительной длины цилиндрической оболочки возможен тот или иной вид потери продольной устойчивости.

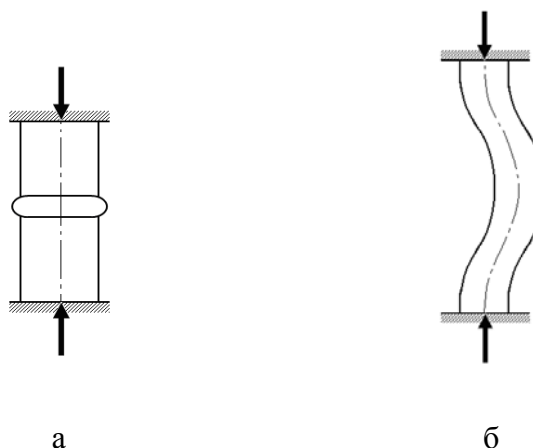


Рис. 1 Виды потери продольной устойчивости трубной заготовки с возникновением: а – кольцевой складки; б – продольного изгиба

Цель работы: на основе анализа процессов потери продольной устойчивости, определить параметры и условия, влияющие на возникновение кольцевых складок и продольного изгиба цилиндрической оболочки при осевом сжатии.

Проанализируем устойчивость сжатой тонкостенной цилиндрической оболочки в пределах упругих деформаций, для чего рассмотрим момент возникновения упругого изгиба в меридиональном сечении оболочки [2]. Рассмотрим условия равновесия элементарной полоски участка упругого изгиба в меридиональном сечении оболочки (рис. 2), ограниченной двумя меридиональными плоскостями с центральным углом $d\gamma$ между ними и двумя коническими поверхностями, перпендикулярными к срединной поверхности оболочки, проходящими через границы изгиба.

Длины граней рассматриваемого элемента обозначим через dl_1 и dl_2 , при этом (см. рис. 2):

$$dl_1 \approx R_3 d\gamma \text{ - ширина элемента в широтном сечении;}$$

$$dl_2 = R_p \alpha_u \approx R_p \sin \alpha_u \text{ - длина участка изгиба в меридиональном сечении.}$$

Рассматривая продольный изгиб элементарной полоски необходимо учесть, что, деформируясь, она взаимодействует с соседними полосками. Это взаимодействие приводит к возникновению тангенциальных напряжений σ_θ , препятствующих изменению размера в направлении их действия, вследствие чего допускаем $\epsilon_\theta = 0$.

Примем, что меридиональные напряжения σ_ρ одинаковы на границах рассматриваемого участка, а тангенциальные напряжения σ_θ равномерно распределены по

боковыми поверхностями выделенного элемента.

Примем, что кривизна срединной поверхности в меридиональном сечении участка упругого изгиба определяется действием момента M и сил, образованных напряжениями σ_ρ и σ_θ и величина этой кривизны определяется условием равенства момента M и моментов, создаваемых элементарными силами, образованными напряжениями σ_ρ и σ_θ .

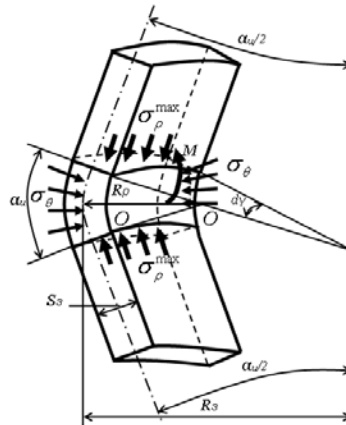


Рис. 2 Расчётная схема равновесия элементарной полоски участка упругого изгиба в меридиональном сечении цилиндрической оболочки

Для определения размеров участка упругого изгиба в меридиональном сечении оболочки составим уравнение равновесия, выраженное через моменты, относительно сечения 0-0:

$$M = \sigma_\rho S_3 R_3 d\gamma (1 - \cos \alpha_u) R_\rho + 2\sigma_\theta S_3 R_\rho \sin \alpha_u \frac{d\gamma}{2} R_\rho \frac{\sin \alpha_u}{2}. \quad (2)$$

Изгибающий момент M при упругом изгибе рассматриваемой полоски в меридиональном сечении может быть выражен формулой:

$$M = \sigma_\rho \frac{R_3 d\gamma S_3^2}{6(1 - \nu^2)}, \quad (3)$$

при выводе которой учитывалась, так называемая, цилиндрическая жёсткость оболочки D [3], равная:

$$D = \frac{EI}{1 - \nu^2}, \quad (4)$$

где $I = \frac{R_3 d\gamma S_3^3}{12}$ - осевой момент инерции поперечного сечения полоски.

С учётом плоского напряжённого состояния, на основании формул обобщённого закона Гука (при допущении $\epsilon_\theta = 0$) получим:

$$\epsilon_\rho = \frac{\sigma_\rho}{E} - \nu \frac{\sigma_\theta}{E}; \sigma_\theta = \nu \sigma_\rho.$$

Тогда уравнение равновесия после соответствующих подстановок и очевидных сокращений запишется:

$$\frac{R_3 S_3}{6(1-\nu^2)} = R_3 R_\rho (1 - \cos \alpha_u) + \nu R_\rho^2 \frac{(\sin \alpha_u)^2}{2}$$

или, с учётом того, что при малых значениях угла α_u (начало образования складки), справедливы равенства:

$$\sin \alpha_u \approx \alpha_u; 1 - \cos \alpha_u \approx \frac{\alpha_u^2}{2},$$

получим окончательную запись упрощенного уравнения равновесия относительно угла α_u в виде:

$$\alpha_u = \sqrt{\frac{R_3 S_3}{3(1-\nu^2)(R_3 R_\rho + \nu R_\rho^2)}}, \quad (5)$$

где радиус кривизны R_ρ рассматриваемого участка изгиба в меридиональном сечении при упругой деформации полосы определяется по известной формуле [4], которая для нашего случая может быть записана в виде:

$$R_\rho = \frac{ES_3}{2\sigma_\rho}. \quad (6)$$

Для определения критического напряжения $\sigma_\rho^{\max}$, при котором возникает упругий продольный изгиб рассматриваемой полосы, воспользуемся известной формулой Эйлера [5], которая с учётом цилиндрической жёсткости выразится в виде:

$$\sigma_\rho^{\max} = \frac{\pi^2 E}{l_u^2 F (1-\nu^2)},$$

где $F = R_3 d \gamma S_3$ - площадь поперечного сечения полосы;

$l_u = dl_2 = R_\rho \alpha_u$ - длина участка изгиба полосы в меридиональном сечении.

Таким образом, после сокращений получим:

$$\sigma_\rho^{\max} = \frac{\pi^2 ES_3^2}{12 R_\rho^2 \alpha_u^2 (1-\nu^2)}.$$

После подстановки в последнее равенство полученных ранее соответствующих выражений для α_u и R_ρ (формулы (5) и (6)), после сокращений получим формулу для определения абсолютной величины критического напряжения в виде:

$$\sigma_\rho^{\max} = \nu \frac{\pi^2}{2(\pi^2 - 2)} E \frac{S_3}{R_3} \approx 0,627 \nu E \frac{S_3}{R_3}. \quad (7)$$

Полученная формула с достаточной степенью точности может быть использована для определения критического меридионального напряжения $\sigma_\rho^{\max}$ при анализе устойчивости сжатой тонкостенной цилиндрической оболочки в пределах упругих деформаций. Сравнение с экспериментальными данными показало достаточно высокую точность расчётных величин критического меридионального напряжения $\sigma_\rho^{\max}$ для материалов оболочки с коэффициентом Пуассона в пределах 0,25...0,4 (углеродистая и легированная сталь, алюминий, медь, бронза, латунь). Область её применимости ограничена выполнением неравенства:

$$\sigma_\rho^{\max} \leq \sigma_{\text{пл}},$$

где $\sigma_{\text{пл}}$ - предел пропорциональности материала заготовки, т.е. для расчёта трубных заготовок с относительной толщиной стенки:

$$\frac{S_3}{R_3} \leq 1,595 \frac{\sigma_{\text{пл}}}{E \nu}. \quad (8)$$

Анализ формулы (7) позволяет сделать вывод, что на величину критического меридионального напряжения $\sigma_{\rho}^{\text{max}}$, вызывающего возникновение поперечной складки, оказывает влияние коэффициент Пуассона ν . Прямопропорциональная зависимость $\sigma_{\rho}^{\text{max}} - \nu$ объясняется тем, что при больших значениях коэффициента ν тангенциальные напряжения σ_{θ} с большей интенсивностью действуют на элементарные полоски, затрудняя их взаимное перемещение друг относительно друга, что в результате снижает вероятность образования кольцевой складки. Анализ неравенства (8) показывает, что формула (7) применима для оболочек, толщина которых весьма мала по сравнению с радиусом кривизны поверхности. Например, для таких материалов, как высококачественные конструкционные легированные стали, относительная толщина цилиндрической оболочки не должна превышать величину:

$$\frac{S_3}{R_3} \leq 0,04.$$

В этой связи, проанализируем процесс складкообразования для сжатых тонкостенных цилиндрических оболочек с относительной толщиной стенок:

$$1,595 \frac{\sigma_{\text{пл}}}{E \nu} \leq \frac{S_3}{R_3} \leq 0,1. \quad (9)$$

Для проведения корректного анализа процесса складкообразования, воспользуемся методикой учёта влияния изгиба на поле напряжений, предложенной в работе [4].

Вернёмся к рисунку 2.

Учитывая только действие меридиональных напряжений $\sigma_{\rho}^{\text{max}}$, принимаем, что моменты, действующие по границам участка изгиба от сил, образованных напряжениями $\sigma_{\rho}^{\text{max}}$, уравновешиваются моментом M , величину которого определим из формулы [4]:

$$M = \frac{S_3^2}{4\sigma_s} \left(\sigma_s^2 - (\sigma_{\rho}^{\text{max}})^2 \right) R_3 d\gamma.$$

Уравнение равновесия моментов относительно сечения 0-0 запишется в виде:

$$\sigma_{\rho}^{\text{max}} S_3 R_3 R_{\rho} d\gamma - \sigma_{\rho}^{\text{max}} S_3 R_3 R_{\rho} d\gamma \cos \alpha = \frac{S_3^2}{4\sigma_s} \left(\sigma_s^2 - (\sigma_{\rho}^{\text{max}})^2 \right) R_3 d\gamma.$$

Решая уравнение относительно $\sigma_{\rho}^{\text{max}}$, используя правило Лопиталья для раскрытия неопределённости вида (для нашего случая)

$$\lim_{\alpha_u \rightarrow 0} \frac{(1 - \cos \alpha_u)}{\alpha_u} = 0,$$

после несложных упрощений, окончательно получим:

$$\sigma_{\rho}^{\max} = \sigma_S. \quad (10)$$

Таким образом, величина меридионального напряжения, вызывающего потерю устойчивости трубных тонкостенных заготовок с образованием кольцевой складки, по абсолютному значению, может быть принята равной напряжению текучести материала деформируемой заготовки.

Аналогичные результаты, на основании экспериментальных данных, получены и приведены в работах [6 – 9].

Продолжим анализ.

Как указывалось выше, потеря продольной устойчивости сопровождается образованием кольцевой складки или продольным изгибом.

Основной причиной возникновения одного или другого вида потери устойчивости или, другими словами, критерием, определяющим возможность перехода от образования кольцевой складки к продольному изгибу, является высота (длина) сжатой оболочки.

Определим предельное значение длины оболочки $l_{пред}$, при которой происходит переход от потери устойчивости с образованием кольцевой складки к продольному изгибу (рис. 3).

Площадь сечения для тонкостенного кольцевого сечения равна:

$$F_{сеч} = 2\pi R_s S_s,$$

Величина осевого момента инерции равна:

$$\begin{aligned} I_{ос}^{\min} = I_{x(y)} &= \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \\ &= \frac{\pi \left[\left(R_s + \frac{S_s}{2} \right)^4 - \left(R_s - \frac{S_s}{2} \right)^4 \right]}{4} = \frac{8\pi R_s \frac{S_s}{2} \left(R_s^2 + \frac{S_s^2}{4} \right)}{4} \approx \pi R_s^3 S_s, \end{aligned}$$

где: D – наружный диаметр оболочки;

d – внутренний диаметр оболочки.

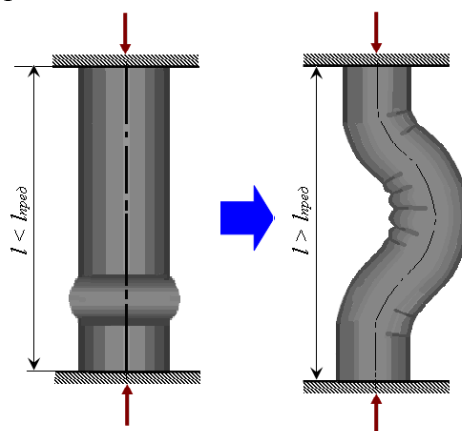


Рис. 3 Переход от потери устойчивости с образованием кольцевой складки к продольному изгибу

Согласно известной формулы Эйлера, величина критического напряжения при сжатии, по условию возникновения продольного изгиба, равна [5]:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{ос}^{\min}}{F_{сеч} (\nu_l l)^2},$$

где: E – модуль Юнга;

ν_l – коэффициент приведенной длины (высоты) трубной заготовки (например, для схемы, изображённой на рис. 3, $\nu_l = 0,5$).

С учётом равенства:

$$\sigma_{кр} = \sigma_{\rho}^{\max},$$

где величина $\sigma_{\rho}^{\max}$ определяется по формуле (10), после несложных упрощений, подразумевая $l = l_{пред}$, окончательно получим:

$$l_{пред} = \frac{\pi R_3}{\nu_l} \sqrt{\frac{E}{2\sigma_s}}. \quad (11)$$

Таким образом, для тонкостенных оболочек условие возникновения кольцевой складки:

$$l \leq \frac{\pi R_3}{\nu_l} \sqrt{\frac{E}{2\sigma_s}}; \quad (12)$$

условие возникновения продольного изгиба:

$$l \geq \frac{\pi R_3}{\nu_l} \sqrt{\frac{E}{2\sigma_s}}. \quad (13)$$

Выводы.

1. Рассмотрены возможные виды потери продольной устойчивости сжатой тонкостенной цилиндрической оболочки, проведен анализ и определены параметры, влияющие на процесс образования поперечных (кольцевых) складок и возникновение продольного изгиба.

2. Получены формулы для определения величины критического меридионального напряжения, возникающего при потере устойчивости сжатой тонкостенной цилиндрической оболочки с образованием кольцевой складки.

3. Получена формула для определения предельной длины сжатой тонкостенной цилиндрической оболочки при потере осевой устойчивости, по условию перехода от образования кольцевой складки к продольному изгибу.

4. Полученные формулы рекомендованы к использованию при проведении проектно-прочностных расчётов нагруженных инженерных конструкций, а также при проектировании операций листовой штамповки трубчатых заготовок (например, для расчёта усилия «проталкивания» при обжиге, раздаче).

Список использованной литературы

1. Феодосьев В. И. Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов / В. И. Феодосьев. – М. : Наука, 1975. – 173 с.
2. Розов Ю. Г. К вопросу об осевой устойчивости тонкостенной цилиндрической оболочки в области упругих деформаций / Ю. Г. Розов // Вестник Херсонского национального технического университета: инженерные науки. – Херсон, 2002. – № 3 (16). –

С.

3. Александров А. В. Основы теории упругости и пластичности / А. П. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высшая школа, 1990. – 400 с. : ил.
4. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 278 с.
5. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев; отв. ред. Г. С. Писаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Наукова думка, 1988. – 736 с.
6. Аверкиев Ю. А. Анализ обжима полых цилиндрических заготовок конической матрицей / Ю. А. Аверкиев // сб. труд. Машины и технология обработки металлов давлением. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1955. – № 42. – С. 111–118.
7. Аверкиев Ю.А. Об определении наибольшей степени деформации при обжиме пустотелых цилиндрических заготовок в конической матрице / Ю. А. Аверкиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1966. – № 11. – С. 19 – 22.
8. Фролов В. Н. Обжим полых цилиндрических заготовок / В. Н. Фролов. – М. : Машгиз, 1957. – 24 с.
9. Фролов В. Н. Обжим труб в разъемной матрице / В. Н. Фролов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1960. – № 5. – С. 3 – 6.

АНАЛІЗ І ВИДИ ВТРАТИ ПОЗДОВЖНЬОЇ СТІЙКОСТІ ТОНКОСТІННОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ПРИ ОСЬОВОМУ СТИСНЕННІ РОЗОВ Ю.Г.

Херсонський національний технічний університет

Мета. Визначити параметри та умови, що впливають на виникнення кільцевих складок і поздовжнього вигину тонкостінної циліндричної оболонки при осьовому стисненні.

Методика. Для досягнення поставленої мети в статті використовуються аналітичні методи аналізу напружено-деформованого стану стислій оболонки (рішення рівнянь рівноваги; визначення критичного навантаження стиснення в області пружних і пластичних деформацій).

Результати. Отримано формули для розрахунку величини критичного меридіонального напруження за умовою втрати осьової стійкості стиснутих оболонок з утворенням кільцевих складок (поперечних хвиль). Визначено умови переходу від кільцевої складки до подовжнього вигину і отримана формула для визначення граничної довжини стислій тонкостінної циліндричної оболонки.

Наукова новизна. На основі аналізу поздовжньої стійкості при стисканні трубчастої тонкостінної оболонки знайдено аналітичне рішення і визначені наступні параметри: критичне значення осьової сили, граничні значення довжини оболонки за умовою переходу від утворення кільцевих складок до виникнення поздовжнього вигину; запропоновані аналітичні залежності для визначення зазначених параметрів. Визначено характер і ступінь впливу коефіцієнта Пуассона на процес складкоутворення при осьовому стисненні оболонок.

Практична значимість. Результати аналізу рекомендовані до використання при проведенні проектних розрахунків на міцність навантажених інженерних конструкцій, а також при проектуванні операцій листового штампування трубчастих заготовок (наприклад,

для розрахунку зусилля «проштовхування» при обтиску, роздачі).

Ключові слова: циліндрична оболонка, кільцева складка, поздовжній вигин, гранична довжина, меридіональне напруження, інженерна конструкція, листове штампування.

ANALYSIS AND TYPES OF LOSS OF THE LONGITUDINAL STABILITY OF THE THIN-WALLED CYLINDRICAL SHELL UNDER AXIAL COMPRESSION

ROZOV Y.G.

Kherson National Technical University

Purpose. In the article the parameters and conditions that influence the occurrence of annular folds and buckling of thin-walled cylindrical shell under axial compression are determined.

To achieve this goal in the article used analytical methods for analysis of stress-strain state of the compressed shell (the solution of the equilibrium equations, the definition of critical load compression in the elastic and plastic deformations).

Scientific novelty. Based on the analysis of longitudinal stability in compression thin-walled tubular shell analytical solution and define the following: critical axial force, limits the length of the shell of the transition from education to the appearance of wrinkles ring buckling; The analytical dependence for determination of these parameters. Determine the nature and degree of influence of Poisson's ratio in the process of folding the shells under axial compression.

Findings. The formulas for calculating the values of the critical meridional stress according to the loss of axial stability of compressed shells with the formation of the annular folds (transverse waves) are obtained. The article determines the conditions of transition from formation of annular folds to buckling and the formula for determining the maximum length of the compressed thin-walled cylindrical shell formation.

Practical value. The results of the analysis are recommended for use during design-strength calculations of loaded engineering structures and for design of sheet metal forming of tubular workpieces (for example, to calculate the effort of "pushing" by crimping, expanding).

Keywords: cylindrical shell, an annular fold, buckling, limit length, meridional stress, engineering structure, sheet-metal stamping.

УДК 536.532

САННИКОВ В.Ю., КІВА І.Л.
Київський національний університет технологій та дизайну

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ТЕРМОМЕТР З САМОКОРЕКЦІЄЮ

Мета. Створення термоелектричних термометрів з самокорекцією, показники яких завдяки самокорекції не залежать від зміни чутливості термопари в процесі довготривалої експлуатації.

Методика. Використані методи теорії термоелектричних перетворень, тепломасообміну та основ термодинаміки.

Результати. Запропоновано метод та апаратну реалізацію термоелектричного термометру, що дозволяє реалізувати вимірювальну схему на основі стандартної двоелектродної термопари і дає можливість виключення впливу постійного струму охолодження – нагріву на вимірювану термоЕРС робочого кінця термопари.

Наукова новизна. Досліджена можливість використання термоелектричного ефекту Пельт'є для створення тестових впливів на робочих електродах термопари, що дозволяє усунути вплив зміни чутливості термопари під час її експлуатації.

Практична значимість. Впровадження термометру з самокорекцією по чутливості дозволить звести до мінімуму необхідність демонтажу термоелектричних датчиків температури для їх періодичної повірки і калібрування.

Ключові слова: термоелектричне перетворення, термопара, електрорушійна сила, ефект Пельт'є, аналого-цифровий перетворювач, мікропроцесор.

Вступ. Однією з основних проблем вимірювання температури термопарами є зміна її чутливості на протязі часу експлуатації або під дією зовнішніх негативних впливів. Існуючі методи компенсації змін чутливості термопари вимагають її демонтажу або формування додаткових тестових впливів для отримання надлишкової інформації про стан робочих кінців термопари. В роботах [1,2] пропонується використання додаткової компенсаційної термопари. Під час роботи формується додаткова корегуюча напруга, яка компенсує зміну чутливості робочої термопари. Проте, нестабільність параметрів самої компенсаційної термопари та неідентичність характеристик двох термопар не дозволяє повністю виключити похибки від зміни чутливості робочої термопари.

Використання триелектродних термопар [3] з наступним нагрівом і охолодженням робочого кінця термопари теплотою Пельт'є [4] та обробкою результатів вимірювання дозволяє виключити вплив струму додаткового нагрівання робочого кінця термопари на значення термоЕРС, яке пропорційно вимірюваній температурі. Проте, забезпечити ідентичність термоелектричних параметрів (коефіцієнтів термоЕРС, коефіцієнтів Пельт'є та ін.) основної термопари і додаткової термопари, створеної третім електродом, важко, особливо із-за відсутності стандартних трьохелектродних термопар. Тому здійснити

самокорекцію показників термоелектричного термометра з високою точністю практично неможливо.

Постановка завдання. Створення методу та його апаратної реалізації за допомогою стандартної двоелектродної термопари, що забезпечить компенсацію змін чутливості термопари під час її експлуатації та значно подовжить термін її використання.

Результати дослідження. Поставлена задача вирішується тим, що до двоелектродної термопари, робочий кінець якої розміщений в зоні вимірюваної температури, приєднані два подовжуючих термоелектроди, дві мідні колодки, два електронних ключі і дві мідні пластини зі струмовим і потенціальними затискачами. Почергова робота електронних ключів, що управляються мікропроцесором, дозволяє здійснювати вимірювання термоЕРС термопари як на початку вимірюваного циклу, так і в наступні цикли при додатковому охолодженні і нагріванні робочого кінця теплою Пельтьє, що створюється постійним струмом, який протікає безпосередньо по електродах термопари [5].

На рис. 1 представлено електричну схему термоелектричного термометра з самокорекцією, яка працює наступним чином.

З початку роботи термометра електронний ключ 20 замкнутий, а електронний ключ 21 розімкнутий. ТермоЕРС термопари з робочим кінцем 1, яка створюється на вільних кінцях подовжувальних термоелектродів 10 і 11, визначається різницею температур T_x робочого кінця 1 і температури T_0 термостату 14:

$$E_1 = S(T_x - T_0), \quad (1)$$

де S – чутливість (коефіцієнт Заєбека) термопари.

ТермоЕРС (1) підсилюється нормуючим підсилювачем 15, перетворюється в цифровий код N_1 аналого-цифровим перетворювачем 16 і вводиться в пам'ять мікропроцесорного контролера 18:

$$N_1 = \frac{SK}{q}(T_x - T_0), \quad (2)$$

де K – коефіцієнт підсилення нормуючого підсилювача;

q – одиниця молодшого розряду аналого-цифрового перетворювача.

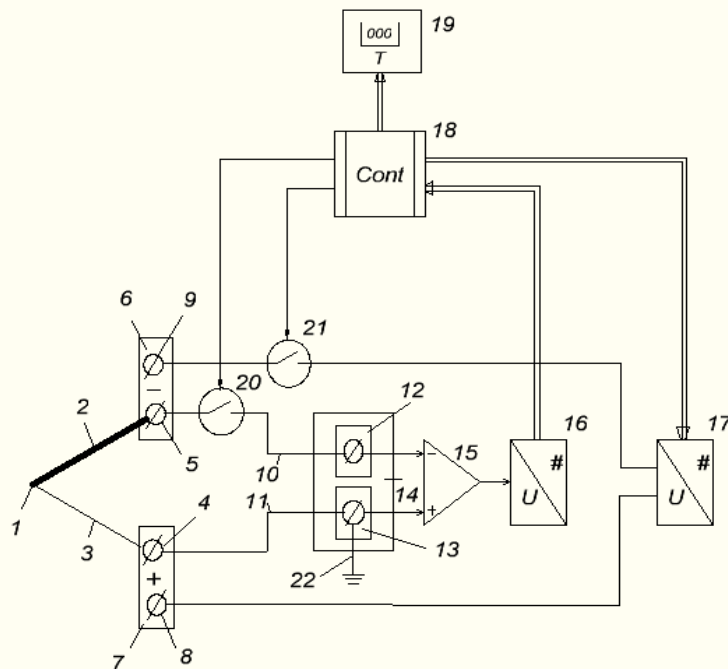


Рис.1. Схема термоелектричного термометра з самокорекцією:

1- двоелектродна термопара, 2,3 - вільні кінці різнополярних електродів, 4,5 - потенціальні затискачі, 6,7 - мідні пластини, 8,9 - струмові затискачі, 10,11 - подовжуючі термоелектроди, 12,13 – другі мідні колодки, 14 - термостат, 15 - нормуючий підсилювач, 16 - аналого-цифровий перетворювач, 17 - цифро-аналоговий перетворювач, 18 - мікропроцесорний контролер, 19 - цифровий індикатор, 20,21 – електронні ключі, 22 - загальна заземлена шина.

Далі розмикається електронний ключ 20, замикається електронний ключ 21 і через робочий кінець 1 термопари починає протікати постійний струм, який формується цифро-аналоговим перетворювачем 17.

Під дією постійного струму робочий кінець 1 термопари починає охолоджуватись за рахунок поглинання теплоти Пельтьє. Проходження струму через різнополярні електроди 2 і 3 термопари викликає їх нагрівання за рахунок виділення теплоти Джоуля. Із-за теплопровідності електродів 2 і 3 частина тепла, що виділяється, поступає в робочий кінець 1 термопари, а інша частина – в мідні пластини 6 і 7, в яких розсіюється. Температура мідних пластин 6 і 7 трішки підвищується як за рахунок теплоти Джоуля, так і теплоти Пельтьє, яка виділяється в мідних пластинах 6 і 7 при охолодженні робочого кінця 1. Проте, термоЕРС, яка створюється на виході подовжувальних термоелектродів 10 і 11 не залежить від температури мідних пластин 6 і 7, а визначається винятково різницею температур робочого кінця 1 термопари і температурою вільних кінців у термостаті 14:

$$E_2 = S(T_x - \frac{pI - \beta I^2 r}{\lambda F} - T_0), \quad (3)$$

де p – коефіцієнт Пельтьє робочого кінця термопари;
 r – електричний опір електродів термопари;

I – сила постійного струму;

β – коефіцієнт, який враховує долю теплоти Джоуля, яка безпосередньо поступає в робочий кінець термопар;

λ – коефіцієнт тепловіддачі робочого кінця в навколишнє середовище і об'єкт контролю;

F – площа поверхні тепловіддачі робочого кінця.

ТермоЕРС (3) також підсилюється нормуючим підсилювачем 15, перетворюється в цифровий код N_2 аналого-цифровим перетворювачем 16 і вводиться в пам'ять мікропроцесорного контролера 18:

$$N_2 = \frac{SK}{q} \left(T_x - \frac{pI - \beta I^2 r}{\lambda F} - T_0 \right). \quad (4)$$

Як видно із виразу (4) в результаті охолодження робочого кінця 1 термопар постійним струмом I код термоЕРС зменшується ($N_2 < N_1$). Зі збільшенням струму збільшується поглинання теплоти Пельт'є в робочому кінці 1, але одночасно збільшується виділення теплоти Джоуля в електродах 2 і 3. В результаті інтенсивність охолодження робочого кінця 1 термопар знижується.

По програмі мікропроцесорного контролера 18 поступово збільшується постійний струм I , який формується цифро-аналоговим перетворювачем 17. Із-за квадратичної залежності теплоти Джоуля від струму і лінійної залежності теплоти Пельт'є від того ж струму при збільшенні струму теплота Джоуля починає перевищувати над теплотою Пельт'є. При цьому код термоЕРС (4) починає зростати і досягає свого початкового значення:

$$N_2 = N_1. \quad (5)$$

Для фіксації рівності (5) періодично ключ 21 розмикається, а ключ 20 замикається на короткий час. Але за рахунок теплової інерції робочого кінця 1 термопар результуюча термоЕРС зберігається на час розмикання ключа 21, а вплив падіння напруги на електродах 2 і 3 від струму I виключається. Рівність (5) при перериванні постійного струму I означає, що

$$pI - \beta I^2 r = 0. \quad (6)$$

Із рівності (6) слідує, що коефіцієнт Пельт'є

$$p = \beta I r. \quad (7)$$

У відповідності з першим термоелектричним співвідношенням Томсона [4] коефіцієнт Пельт'є p і коефіцієнт Засебека (чутливість) S термопар зв'язані виразом

$$p = S T_x, \quad (8)$$

де T_x – термодинамічна температура робочого кінця (по шкалі Кельвіна).

З урахуванням співвідношення (7) вираз (8) приймає вигляд

$$S T_x = \beta I r, \quad (9)$$

звідки чутливість термопар

$$S = \frac{\beta I r}{T_x}. \quad (10)$$

Підставивши значення чутливості (10) у вираз (2), отримуємо код

$$N_1 = \frac{\beta IrK}{qT_x}(T_x - T_0) = \frac{\beta IrK}{q}\left(1 - \frac{T_0}{T_x}\right). \quad (11)$$

Вирішивши рівняння (11) відносно температури T_x , в результаті отримаємо

$$T_x = \frac{\beta IrK}{\beta IrK - qN_1}T_0. \quad (12)$$

При невеликій довжині різнополярних електродів 2 і 3 термопари можна вважати, що за рахунок теплопровідності електродів половина теплоти Джоуля поступає в робочий кінець 1 термопари, а половина теплоти Джоуля - в мідні пластини 6 і 7. Тоді коефіцієнт $\beta=0,5$, а розрахункова формула (12) набуває вигляду

$$T_x = \frac{IrK}{IrK - 2qN_1}T_0. \quad (13)$$

Падіння напруги на різнополярних електродах 2 і 3 від постійного струму I додатково вимірюють при замкнутих електронних ключах 20 і 21 і попереднім виконанні умови (5) при розімкнутому електронному ключі 21. В цьому випадку до термоЕРС (1) додається падіння напруги на різнополярних електродах 2 і 3 від постійного струму I . Цифровий код на виході аналого-цифрового перетворювача 16 приймає значення

$$N_3 = \frac{K(E_1 + Ir)}{q}. \quad (14)$$

Із виразу (14) випливає, що падіння напруги

$$Ir = \frac{qN_3}{K} - E_1. \quad (15)$$

Підставивши значення (15) в розрахункову формулу (13) для обчислення вимірюваної температури, отримаємо

$$T_x = \frac{N_3 - N_1}{N_3 - 3N_1}T_0. \quad (16)$$

Результат (16) обчислюється в мікропроцесорному контролері 18 і виводиться на цифровий індикатор 19.

Із формули (16) виходить, що вимірювана температура T_x визначається по відомій температурі T_0 вільних кінців подовжувальних термоелектродів з урахуванням коду початкової термоЕРС N_1 термопари і коду цієї термоЕРС з урахуванням падіння напруги на електродах термопари N_3 від постійного струму. Результат вимірювання не залежить від чутливості термопари, а отже і від її змін.

Висновки. Запропонований термоелектричний термометр дозволяє реалізувати вимірювальну схему на основі стандартної двоелектродної термопари і дає можливість виключення впливу постійного струму охолодження – нагріву на вимірювану термоЕРС робочого кінця термопари. Завдяки електронним ключам є періодичний доступ до термоЕРС робочого кінця підігрітої термопари з перериванням постійного струму і відсутність будь-яких калібровок в процесі експлуатації. Достоїнством схеми термометра є також скорочення кількості додаткових вимірювань, що підвищує його швидкодію.

Термометр з самокорекцією по чутливості може бути використаний в системах автоконтролю температури на об'єктах, доступ до яких ускладнений в процесі їх

експлуатації. Це насамперед атомні та хімічні реактори, потужні електроагрегати, високовольтні трансформатори і т.п.

Список використаних джерел

1. Термоелектричні прилади контролю: навч. посіб. / [Гондюл В.Л., Головка Д.Б., Скрипник Ю.О., та ін.] – К.:Либідь, 1994. – 268с.
2. Високоточні вимірювання багатofункціональними термометрами: навч. посіб. / [Головка Д.Б., Дубровний В.О., Скрипник Ю.О. та ін.] – К.: Либідь, 2000. – 396с.
3. Патент на корисну модель 54936 Україна, МПК G01K 13/00, Термоелектричний пристрій для вимірювання температури / Скрипник Ю.О., Скирута М.А., Кушинський О.А., Мислюк Х.Ю.; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – №u201007297 заяв. 11.06.2010; опуб. 25.11.2010 Бюл. пром. влас., – №22/2010р.
4. Сивухин С.Д. Общий курс физики. Т.3. Электричество/ С.Д.Сивухин –М.: Наука, 1977.- 680с.
5. Патент на корисну модель 76262 Україна, МПК G01K 13/00, Термоелектричний термометр з самокорекцією / Скрипник Ю.О., Санніков В.Ю., Мислюк Х.Ю.; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – №u201207905 заяв. 26.06.2012; опуб. 25.12.2012 Бюл. пром. влас., – №24/2012р.

References

1. Gondyl V.L., Golovko D.B., Skripnik Y.A. (1994) Termoelektrichni priladi kontroly [Thermoelectric control devices] Kyiv: Libid [in Ukrainian].
2. Golovko D.B., Dubrovnyi V.A., Skripnik Y.A. (2000) Visokotochni vimipyvannia bagatofunkcionalnimi termometrami [Precision measurements multipurpose thermometers] Kyiv: Libid [in Ukrainian].
3. Patent na korisnu model №54936 MPK G01K 13/00 (2010) Termoelektrichnij pristirij dlia vimiruvaniy temperaturi [Thermoelectric device for temperature measurement] / Skripnik Y.A., Skyruta M.A., Kuschinski O.A., Mysliuk K.Y. Buliten prom. vlasn. №22/2010 [in Ukrainian]
4. Sivuhin S.D. (1977) Obshi kurs fiziki. T3. Elektrichestvo [The general course of physics. V.3. Electricity] Moskva: Nauka [in Ukrainian].
5. Patent na korisnu model №76262 MPK G01K 13/00 (2012) Termoelektrichnij termometr s samokoreciey [Self-correcting thermoelectric thermometer] / Skripnik Y.A., Sannikov V.Y., Mysliuk K.Y. Buliten prom. vlasn. №24/2012 [in Ukrainian]

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Здоренко В.Г.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТЕРМОМЕТР С САМОКОРРЕКЦИЕЙ

САННИКОВ В.Ю., КИВА И.Л.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Создание термоэлектрических термометров с самокоррекцией, показания которых, благодаря самокоррекции не зависят от изменения чувствительности термопары в процессе длительной её эксплуатации.

Методика. Используются методы теорий термоэлектрических преобразований, теплообмена и основ термодинамики.

Результаты. Предложен метод и аппаратная реализация термоэлектрического термометра, который позволяет реализовать измерительную схему на основе стандартной двухэлектродной термопары и исключить влияние постоянного тока охлаждения – нагрева на измеряемую термоЭДС рабочего конца термопары.

Научная новизна. Исследована возможность использования термоэлектрического эффекта Пельтье для создания тестовых воздействий на рабочих электродах термопары, что позволяет исключить влияние изменения чувствительности термопары во время её эксплуатации.

Практическая значимость. Внедрение термометра с самокоррекцией по чувствительности позволит свести к минимуму необходимость демонтажа датчиков температуры для их периодической проверки и калибровки.

Ключевые слова: термоэлектрическое преобразование, термопара, электродвижущая сила, эффект Пельтье, аналого-цифровой преобразователь, микропроцессор.

SELF-CORRECTING THERMOELECTRIC THERMOMETER

SANNIKO V. V., KIVA I.

Kyiv National University of Technology and Design

Purpose. Create thermoelectric thermometers with self-correction, self-correction through indicators which do not depend on the sensitivity of the thermocouple changes during long-term use

Methodology. Methods theories thermoelectric transformations, heat transfer and thermodynamics bases.

Findings. The method and hardware implementation thermoelectric thermometer that allows for the measuring system based on standard thermocouple and provides an opportunity to eliminate the influence of DC cooling - heating measured at the working end thermoelectric thermocouple.

Originality. The possibility of using the thermoelectric effect Peltier to create the test impact on the working electrode thermocouple, which eliminates the effect of changes in the sensitivity of the thermocouple during its operation.

Practical value. Implementation thermometer with self-correction sensitivity will minimize the need to dismantle thermoelectric temperature sensors for their periodical verification and calibration.

Keywords: thermoelectric conversion, thermocouple electromotive force effect Peltier, analog-to-digital converter, microprocessor.

УДК 67/68.08:678.053-8

РУБАНКА М.М., МІСЯЦЬ В.П.

Київський національний університет технологій та дизайну

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Мета. Експериментально визначити кінематичні та силові характеристики приводу роторної дробарки в момент пуску електродвигуна та при переробці відходів легкої промисловості.

Методика. Використані сучасні методи досліджень, що базуються на теорії електропривода, теорії динамічних процесів в механічних системах та статистичних методах обробки результатів експериментальних досліджень.

Результати. Виконано експериментальні дослідження динаміки приводу роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості.

Наукова новизна. Представлено результати експериментальних досліджень динаміки приводу роторної дробарки під час перехідних процесів роботи: в момент пуску електродвигуна та при переробці відходів легкої промисловості, які підтверджують доцільність використання пристрою для зниження динамічних навантажень, зокрема пружної муфти з гвинтовими циліндричними пружинами розтягу відповідної жорсткості.

Практична значимість. Виконані експериментальні дослідження дають можливість оцінити ефективність роботи приводу роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості, оснащеного пружною муфтою з гвинтовими циліндричними пружинами розтягу відповідної жорсткості та вибрати його раціональні параметри.

Ключові слова: роторна ножова дробарка, експериментальні дослідження, математична модель, динаміка приводу, раціональні параметри обладнання, відходи легкої промисловості.

Вступ. На основі аналізу особливостей роботи роторних ножових дробарок для переробки відходів легкої промисловості встановлена доцільність використання в приводі даного обладнання пристроїв для зниження динамічних навантажень, зокрема пружних запобіжних муфт [1, 2]. Для проектування конструкції та вибору раціональних параметрів приводу необхідно виконати експериментальні дослідження динаміки роторної дробарки та перевірити з результатами аналітичного дослідження [3].

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання вибору раціональних параметрів обладнання, що визначають надійність і довговічність його роботи, енергоефективність технологічних процесів переробки відходів легкої промисловості, завданням досліджень є експериментальне визначення кінематичних та силових характеристик приводу роторної ножової дробарки для підтвердження адекватності розроблених математичних моделей [3] реальним процесам подрібнення.

Результати дослідження. Для проведення експериментальних досліджень було розроблено і виготовлено експериментальну установку [4], зовнішній вигляд якої представлені на рис. 1. На рис. 2 представлено зовнішній вигляд вимірювальної системи для дослідження динаміки приводу роторної дробарки [5].



Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментальної роторної дробарки: 1 – завантажувальний бункер; 2 – тахогенератор; 3 – тахометр; 4 – електродвигун; 5 – клинопасова передача; 6 – пружна муфта; 7 – ножова голівка; 8 – вимірювальна система

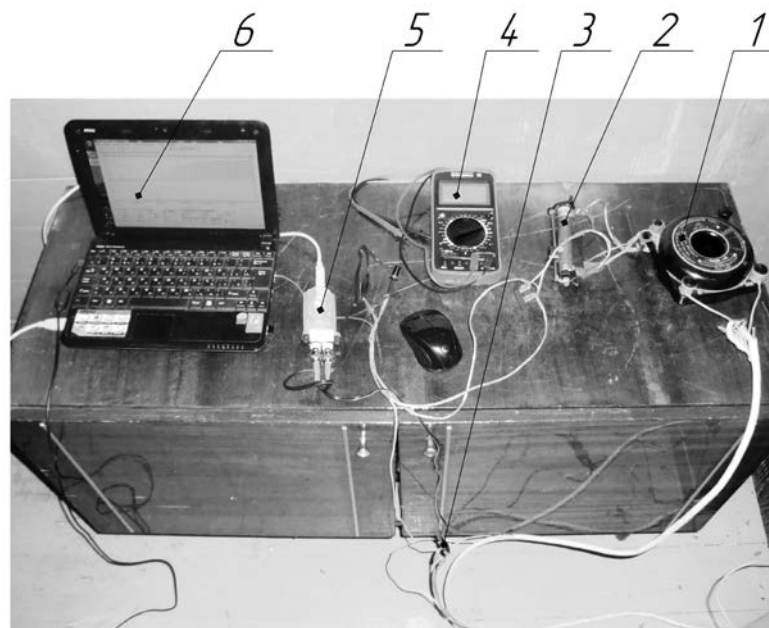


Рис. 2. Зовнішній вигляд вимірювальної системи для дослідження динаміки приводу роторної дробарки: 1 – трансформатор струму; 2 – шунт; 3 – діодний місток; 4 – цифровий мультиметр; 5 – аналого-цифровий перетворювач; 6 – персональний комп'ютер

В ході проведення експериментальних досліджень динаміки приводу роторної дробарки в момент пуску електродвигуна знімали показники значення сили струму, що споживалася двигуном та відповідні значення частоти обертання валу ротора починаючи з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання без

використання в приводі роторної дробарки пружної муфти та з її використанням, варіюючи величиною жорсткості встановленням відповідного комплексу пружин.

Результати експериментальних досліджень були оброблені за допомогою персонального комп'ютера з використанням програмного забезпечення «Microsoft Office Exel 2007» в такій послідовності:

- експорт отриманих даних випробувань записаних програмою «Disco Application», та збережених у вигляді текстових документів у форматі (.txt) в табличну форму програмного забезпечення «Microsoft Office Exel 2007» та подальше збереження у форматі (.xlsx); данні являють собою значення кутової швидкості обертання ротора та сили струму, що споживається електродвигуном без навантаження починаючи з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання;

- масштабування отриманих експериментальних даних і приведення до нульового рівня в програмному забезпеченні «Microsoft Office Exel 2007»;

- побудова графічних залежностей кутової швидкості обертання валу ротора та сили струму по часу з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання;

- порівняльний аналіз отриманих графічних залежностей.

Графіки залежностей зміни кутової швидкості обертання валу ротора та зміни сили струму, що споживається електродвигуном без навантаження, починаючи з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання представлено на рис. 3, 4.

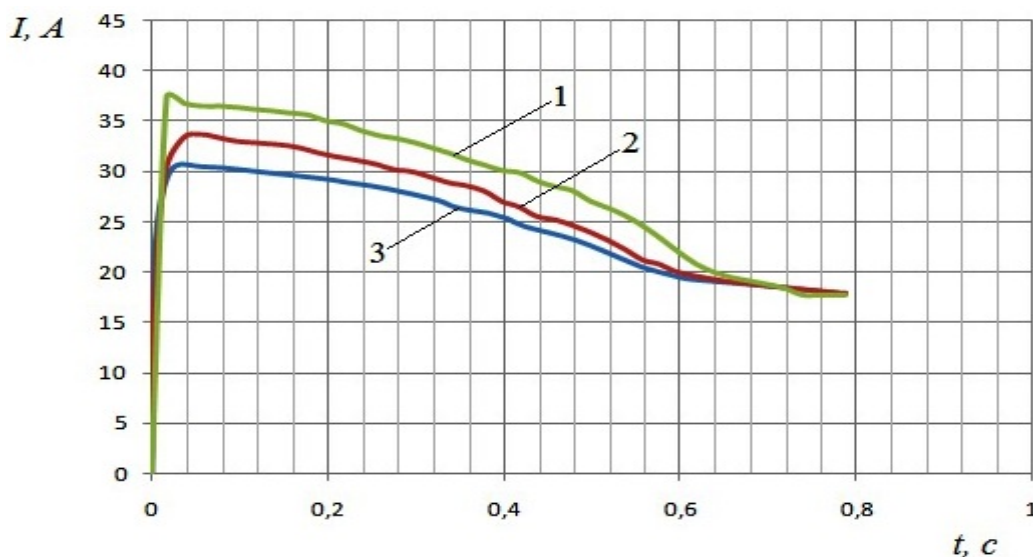


Рис. 3. Експериментально отримані графіки залежності зміни сили струму, що споживається електродвигуном в момент його пуску і до встановлення номінальної частоти обертання: 1 - без використання в приводі пружної муфти; 2 - з використанням в приводі пружної муфти жорсткістю 41,99 Н·м/рад; 3 - з використанням в приводі пружної муфти жорсткістю 106,1 Н·м/рад

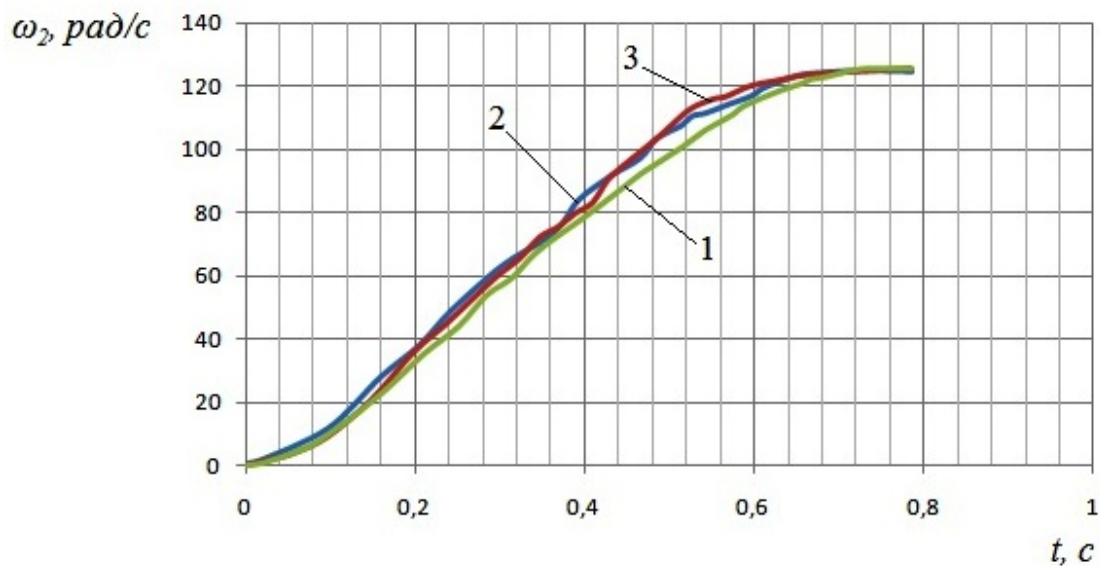


Рис. 4. Експериментально отримані графіки залежності зміни кутової швидкості валу ротора починаючи з моменту пуску електродвигуна і до встановлення його номінальної частоти обертання: 1 - без використання в приводі пружної муфти; 2 - з використанням в приводі пружної муфти жорсткістю 41,99 Н·м/рад; 3 - з використанням в приводі пружної муфти жорсткістю 106,1 Н·м/рад

Проаналізувавши графіки (рис. 3, 4), можна зробити висновок, про доцільність використання в приводі роторної дробарки пружної муфти, що дозволяє суттєво знизити енерговитрати роботи даного обладнання. Оснащення приводу роторної дробарки пружною муфтою дозволяє зменшити імпульс сили струму в момент пуску електродвигуна до 20% в залежності від жорсткості пружної муфти, при цьому характер зміни кутової швидкості на валу ротора практично не змінюється.

В ході проведення експериментальних досліджень динаміки приводу роторної дробарки при переробці відходів легкої промисловості знімали показники значення сили струму, що споживалася двигуном та відповідні значення частоти обертання валу ротора варіюючи наступними технологічними параметрами:

- момент опору на валу ротора, який можна змінювати шляхом переробки різних видів відходів легкої промисловості, що мають відповідні фізико-механічні властивості та геометричні розміри поперечного перерізу;
- жорсткість пружного зв'язку, яку можна змінювати шляхом використання в пружній муфті, що увійшла до складу приводу роторної дробарки, різних комплектів гвинтових циліндричних пружин розтягу.

В якості відходів матеріалів легкої промисловості, що перероблялися під час даних експериментальних досліджень було вибрано гуму ОСТ 17-44-82, поліетилен ТУ 6-05-1853-78 і ПВХ пластикат ТУ 6-05-2074-84.

По кожному виду відходів було підготовлено дванадцять квадратних плоских шматків 100×100 мм, товщиною 3 мм і 5 мм.

Значення моменту опору роторної дробарки [6] при переробці шматків кожного виду відходів відповідних геометричних розмірів наведено в таблиці 1.

Результати експериментальних досліджень були оброблені за допомогою персонального комп'ютера з використанням програмного забезпечення «Microsoft Office Exel 2007», «Graphical analysis» і «Mathcad 14», в такій послідовності:

- експорт отриманих даних випробувань записаних програмою «Disco Application», та збережених у вигляді текстових документів у форматі (.txt) в табличну форму програмного забезпечення «Microsoft Office Exel 2007» та подальше збереження у форматі (.xlsx); данні являють собою значення кутової швидкості обертання ротора та сили струму, що споживається електродвигуном під навантаженням при переробці відходів легкої промисловості з різними фізико-механічними властивостями та розмірами поперечного перерізу, записані через рівні проміжки часу;
- масштабування отриманих експериментальних даних і приведення до нульового рівня в програмному забезпеченні «Microsoft Office Exel 2007»;
- експорт даних в програмне забезпечення «Graphical analysis»;
- побудова графічних залежностей споживаної потужності електродвигуном приводу роторної дробарки по часу при переробці відходів легкої промисловості;
- побудова графічних залежностей різниць кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при умові, коли момент опору величина постійна;
- побудова графічних залежностей різниць кутових швидкостей ротора від моменту опору при умові, коли жорсткість пружного зв'язку величина постійна;
- порівняння результатів експерименту з проведеними розрахунками за математичною моделлю [3];
- підтвердження адекватності математичної моделі динаміки роторної дробарки [3] реальним процесам при переробці відходів легкої промисловості.

Таблиця 1

Момент опору роторної ножової дробарки при переробці відходів легкої промисловості

Матеріал	Геометричні розміри подрібнюваних шматків матеріалів, мм	Руйнуюче напруження при зрізі, МПа	Момент опору дробарки при подрібненні даного матеріалу, Нм
Гума	100×100×3	3,45	7,35
	100×100×5	3,45	20,42
Поліетилен	100×100×3	5,25	11,19
	100×100×5	5,25	31,08
ПВХ пластикат	100×100×3	2,75	5,86
	100×100×5	2,75	16,28

Графічні залежності різниць кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при переробці одиничних шматків гуми представлено на рис. 5, 6, поліетилену на рис. 7, 8 та ПВХ пластикату на рис. 9, 10; різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час подрібнення одиничних шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену при різних значеннях жорсткості пружного зв'язку представлено на рис. 11-18.

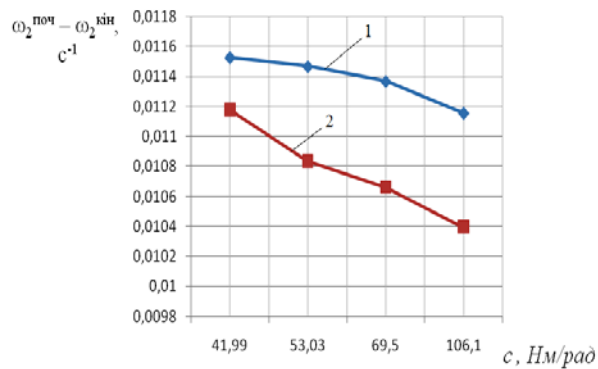


Рис. 5. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка гуми розміром $100 \times 100 \times 5$ мм (тривалість робочого ходу $0,00053$ с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

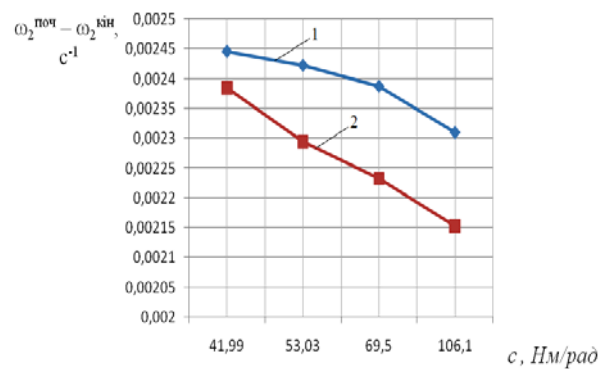


Рис. 6. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка гуми розміром $100 \times 100 \times 3$ мм (тривалість робочого ходу $0,00032$ с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

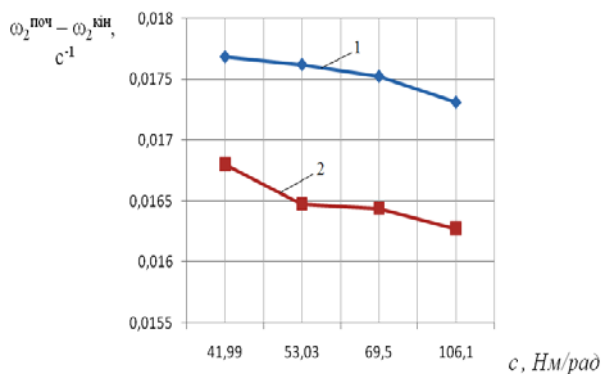


Рис. 7. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка поліетилену розміром $100 \times 100 \times 5$ мм (тривалість робочого ходу $0,00053$ с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

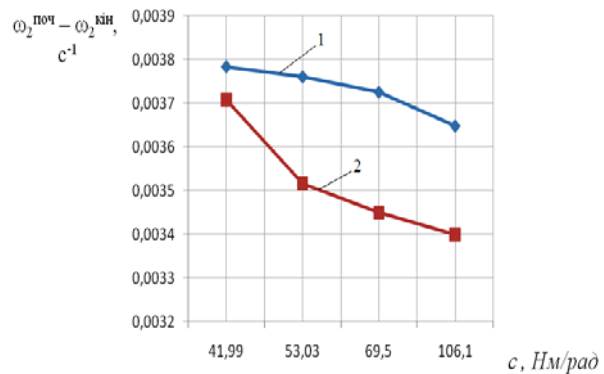


Рис. 8. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка поліетилену розміром $100 \times 100 \times 3$ мм (тривалість робочого ходу $0,00032$ с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

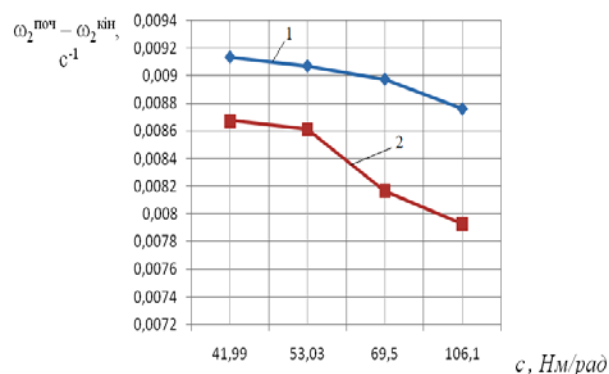


Рис. 9. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка ПВХ пластику розміром $100 \times 100 \times 5$ мм (тривалість робочого ходу $0,00053$ с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

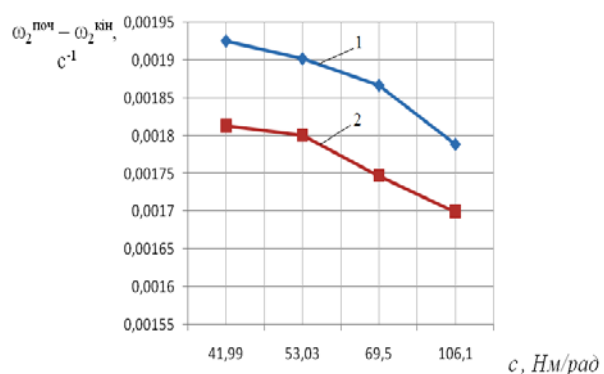


Рис. 10. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від жорсткості пружного зв'язку при подрібненні шматка ПВХ пластику розміром $100 \times 100 \times 3$ мм (тривалість робочого ходу $0,00032$ с): 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

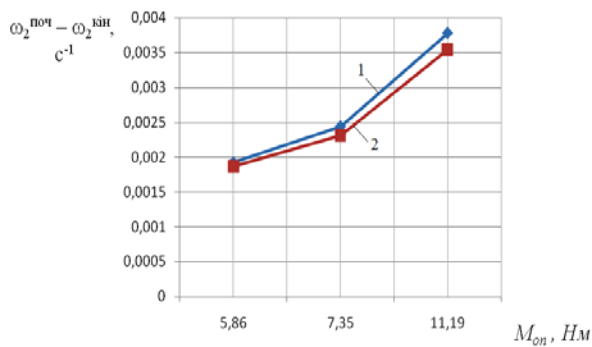


Рис. 11. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×3 мм при жорсткості пружного зв'язку 41,99 Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

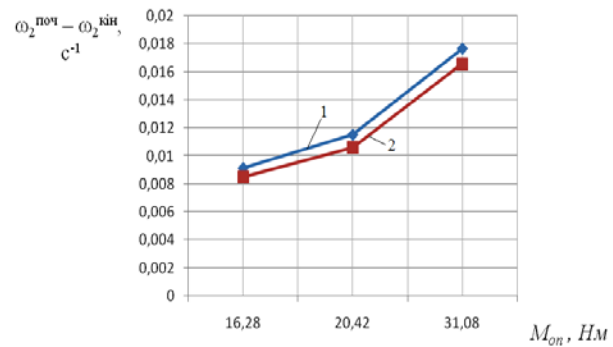


Рис. 12. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×5 мм при жорсткості пружного зв'язку 41,99 Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

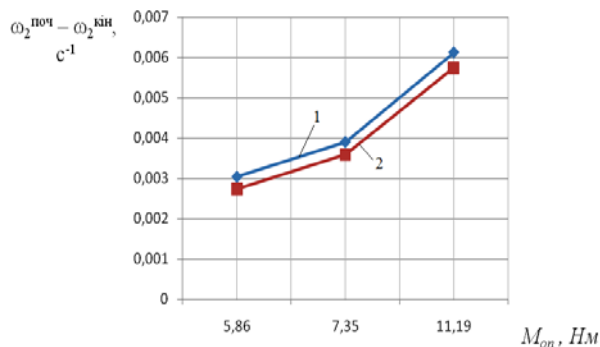


Рис. 13. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×3 мм при жорсткості пружного зв'язку 53,04 Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

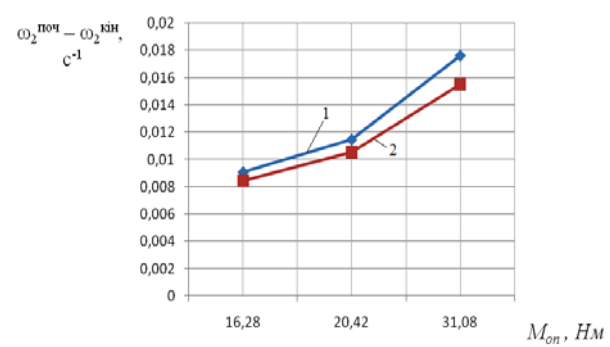


Рис. 14. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×5 мм при жорсткості пружного зв'язку 53,04 Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

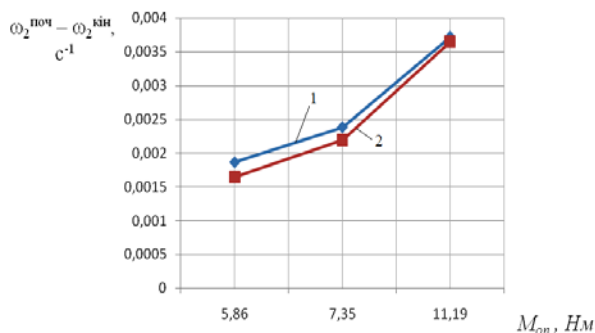


Рис. 15. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×3 мм при жорсткості пружного зв'язку 69,5 Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

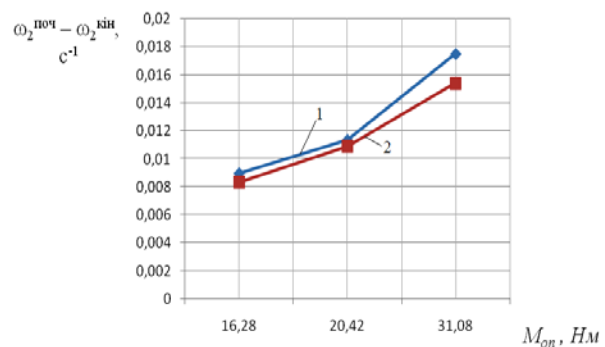


Рис. 16. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×5 мм при жорсткості пружного зв'язку 69,5 Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

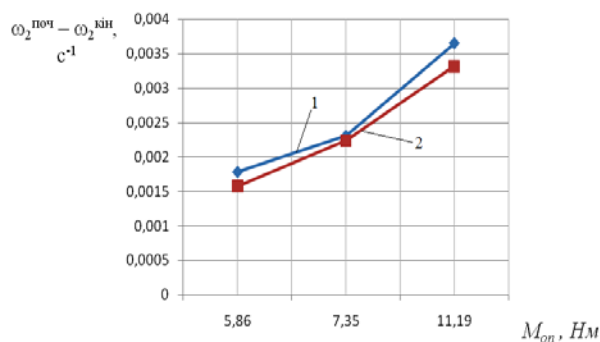


Рис. 17. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×3 мм при жорсткості пружного зв'язку 106,1 Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

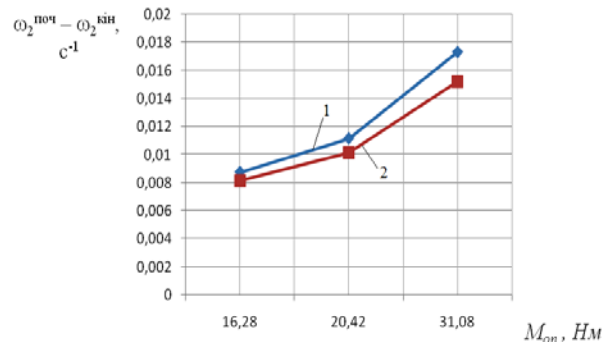


Рис. 18. Графік залежності різниці кутових швидкостей ротора від моменту опору під час переробки шматків ПВХ пластикату, гуми та поліетилену розміром 100×100×5 мм при жорсткості пружного зв'язку 106,1 Нм/рад: 1 – згідно математичної моделі; 2 – згідно даних експерименту

Після обробки даних встановлено, що відхилення розрахункових значень величин отриманих на основі математичної моделі [3] від експериментальних даних, при переробці одиничних шматків подрібнювальних матеріалів, не перевищують 12%.

Можна зробити висновок про адекватність математичної моделі динаміки роторної дробарки реальним процесам, що відбуваються при переробці відходів легкої промисловості.

Висновки. Виконані експериментальні дослідження підтверджують наступне:

- доцільність використання в приводі роторної дробарки пристрою для зниження динамічних навантажень, зокрема пружної муфти з гвинтовими циліндричними пружинами розтягу, що дозволяє суттєво знизити енерговитрати роботи даного обладнання;
- адекватність математичної моделі динаміки приводу роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості, а саме при подрібненні відходів гуми, поліетилену та ПВХ пластикату.

Отримані результати можуть бути використані інженерами при проектуванні роторних дробарок та вибору раціональних параметрів приводу.

Список використаних джерел

1. Рубанка М.М. Доцільність використання в приводі роторної ножової дробарки пружної запобіжної муфти / М.М. Рубанка, Б.Ф. Піпа, Ю.А. Ковальов // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 2 (76). – С. 97 – 102.
2. Піпа Б.Ф. Аналіз доцільності використання пристрою з пружиною кручення для зниження динамічних навантажень в приводі технологічного обладнання та вибір його параметрів / Б.Ф. Піпа, М.М. Рубанка, С.В. Музичишин // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 3 (77). – С. 209 – 215.
3. Рубанка М.М. Математичне моделювання динаміки роторної дробарки для переробки відходів легкої промисловості / М.М. Рубанка // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 6 (92). – С. 107 – 114.
4. Місяць В.П. Експериментальна установка для дослідження динамічних характеристик роторної ножової дробарки / В.П. Місяць, М.М. Рубанка // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2014. – Вип. 1 (43). – С. 78 – 82.

5. Рубанка М.М. Система для експериментального дослідження динаміки перехідних процесів в роторних дробарках / М.М. Рубанка, В.П. Місяць // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : XIV Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених та студентів, 23 – 24 квітня 2015 р. : тези доповідей. – Київ, 2015. – Т. 2. – С. 172.

6. Рубанка М.М. Визначення моменту опору роторної ножової дробарки, що виникає при переробці відходів легкої промисловості / М.М. Рубанка, В.П. Місяць // Технічна творчість: збірник наукових праць. – Хмельницький: ХНУ, 2015. – № 1. – С. 155-156.

References

1. Rubanka M.M. Docil'nist' vykorystannja v pryvodi rotornoj' nozhovoi' drobarky pruzhnoi' zapobizhnoi' mufty / M.M. Rubanka, B.F. Pipa, Ju.A. Koval'ov // Visnyk Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu tehnologij ta dyzajnu. – 2014. – № 2 (76). – S. 97 – 102.

2. Pipa B.F. Analiz docil'nosti vykorystannja prystroju z pruzhynuju kruchennja dlja znyzhennja dynamichnyh navantazhen' v pryvodi tehnologichnogo obladnannja ta vybir jogo parametriv / B.F. Pipa, M.M. Rubanka, S.V. Muzychyshyn // Visnyk Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu tehnologij ta dyzajnu. – 2014. – № 3 (77). – S. 209 – 215.

3. Rubanka M.M. Matematyчне modeljuvannja dynamiky rotornoj' drobarky dlja pererobky vidhodiv legkoj' promyslovosti / M.M. Rubanka // Visnyk Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu tehnologij ta dyzajnu. – 2015. – № 6 (92). – S. 107 – 114.

4. Misjac' V.P. Eksperymental'na ustanovka dlja doslidzhennja dynamichnyh harakterystyk rotornoj' nozhovoi' drobarky / V.P. Misjac', M.M. Rubanka // Praci Odes'kogo politehnichnogo universytetu: Naukovyj ta naukovo-vyrobnychij zbirnyk. – Odesa, 2014. – Vyp. 1 (43). – S. 78 – 82.

5. Rubanka M.M. Systema dlja eksperymental'nogo doslidzhennja dynamiky perehidnyh procesiv v rotornyh drobarkah / M.M. Rubanka, V.P. Misjac' // Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : XIV Vseukrai'ns'ka naukova konferencija molodyh vchenyh ta studentiv, 23 – 24 kvitnja 2015 r. : tezy dopovidej. – Kyi'v, 2015. – Т. 2. – С. 172.

6. Rubanka M.M. Vyznachennja momentu oporu rotornoj' nozhovoi' drobarky, shho vynykaje pry pererobci vidhodiv legkoj' promyslovosti / M.M. Rubanka, V.P. Misjac' // Tehnichna tvorchist': zbirnyk naukovyh prac'. – Hmel'nyč'kyj: HNU, 2015. – № 1. – С. 155-156.

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Бурмістенковим О.П.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РОТОРНОЙ ДРОБИЛКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

РУБАНКА Н.Н., МИСЯЦЬ В.П.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Экспериментально определить кинематические и силовые характеристики привода роторной дробилки в момент пуска электродвигателя и при переработке отходов легкой промышленности.

Методика. Используются современные методы исследований, которые базируются на теории электропривода, теории динамических процессов в механических системах и статистических методах обработки результатов экспериментальных исследований.

Результаты. Выполнены экспериментальные исследования динамики привода роторной дробилки для переработки отходов легкой промышленности.

Научная новизна. Представлены результаты экспериментального исследования динамики привода роторной дробилки во время переходных процессов работы: в момент

пуска электродвигателя и при переработке отходов легкой промышленности, которые подтверждают целесообразность использования устройства для снижения динамических нагрузок, в частности упругой муфты с винтовыми цилиндрическими пружинами растяжения соответствующей жесткости.

Практическая значимость. Выполненные экспериментальные исследования дают возможность оценить эффективность работы привода роторной дробилки для переработки отходов легкой промышленности, оснащенного упругой муфтой с винтовыми цилиндрическими пружинами растяжения соответствующей жесткости и выбрать его рациональные параметры.

Ключевые слова: роторная ножесвая дробилка, экспериментальные исследования, математическая модель, динамика привода, рациональные параметры оборудования, отходы легкой промышленности.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF ROTOR CRUSHER DYNAMICS ARE FOR RECYCLING OF LIGHT INDUSTRY WASTES

RUBANKA M.M., MISIATS V.P.

Kiev National University of Technology and Design

Purpose. Experimentally to define kinematics and power descriptions of rotor crusher drive in the moment of starting of electric motor and at recycling of light industry wastes.

Method. The modern methods of researches which are based on the theory of elektric drive are used, theories of dynamic processes in the mechanical systems and statistical methods of treatment of results of experimental researches.

Results. Experimental researches of dynamics of rotor crusher drive are for recycling of light industry wastes are executed.

Scientific novelty. The results of experimental researches of dynamics of rotor crusher drive are presented during the transients of work: in the moment of starting of electric motor and at recycling of light industry wastes, which confirm expedience of the use of device for the decline of the dynamic loadings, in particular resilient muff with screw cylindrical springs of stretching of the corresponding rigidity.

Practical meaningfulness. Executed experimental researches enable to estimate efficiency of work of rotor crusher drive for recycling of light industry wastes, equipped a resilient muff with screw cylindrical springs of stretching of the corresponding rigidity and to choose rational parameters.

Keywords. rotor knife crusher, experimental researches, mathematical model, dynamics of drive, rational parameters of equipment, light industry wastes.

УДК 677.055

МІСЯЦЬ В. П.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ДВОПОТОЧНОГО ЛОБОВОГО ФРИКЦІЙНОГО ВАРІАТОРА

Мета. Удосконалення двопоточного лобового фрикційного варіатора та вибір його раціональних параметрів.

Методика. Використані сучасні методи теорії проектування фрикційних передач та варіаторів.

Результати. На основі аналізу існуючих конструкцій двопоточний лобових фрикційних варіаторів встановлено, що основним їх недоліком є необхідність зміни міжосьової відстані шестерень, що кінематично з'єднують котки між собою. Таке конструктивне рішення призводить до зміни стабільності роботи зубчастого зачеплення шестерень і, як наслідок, до зниження довговічності їх роботи та варіатора в цілому. Автори пропонують принципово нову конструкцію двопоточного лобового фрикційного варіатора, де цей недолік ліквідовано. Стабільність міжосьової відстані шестерень варіатора дозволяє стабілізувати процес їх зачеплення незалежно від режиму роботи та зношення котків і диску, що має місце в процесі роботи варіатора. Автори пропонують також метод вибору раціональних параметрів робочих елементів (котків та диску) двопоточного фрикційного варіатора та залежність, що дозволяє знайти необхідну силу переміщення котків відносно диску в процесі регулювання швидкості вихідного вала варіатора.

Наукова новизна. Розвиток наукових основ та інженерних методів проектування лобових фрикційних варіаторів.

Практична значимість. Розробка нової конструкції двопоточного лобового фрикційного варіатора з постійною міжосьовою відстанню шестерень, що кінематично з'єднують котки, та інженерного методу вибору його раціональних параметрів.

Ключові слова: лобовий фрикційний варіатор, двопоточний лобовий фрикційний варіатор, котки фрикційного варіатора, диск фрикційного варіатора, метод розрахунку лобового фрикційного варіатора.

Вступ. Лобові фрикційні варіатори широко використовуються обладнанні легкої промисловості [1, 2]. При цьому перевагу слід віддати двопоточним варіаторам [3, 4]. Однак, суттєвим недоліком двопоточних лобових фрикційних варіаторів є необхідність зміни міжосьової відстані шестерень, що кінематично з'єднують котки між собою. Таке конструктивне рішення призводить до зміни стабільності роботи зубчастого зачеплення шестерень і, як наслідок, до зниження довговічності їх роботи та варіатора в цілому.

Тому проблема підвищення надійності та довговічності роботи двопоточних лобових фрикційних варіаторів є актуальною та своєчасною.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи лобових фрикційних варіаторів, завданням досліджень є удосконалення конструкції двопоточного лобового фрикційного варіатора та розробка методу вибору раціональних його параметрів.

Результати дослідження. Перспективним напрямком підвищення ефективності роботи лобових фрикційних варіаторів є використання принципу двопоточності передачі потужності від ведучого до веденого валу [3, 4].

Відомий двопоточний лобовий фрикційний варіатор [5] (надалі варіатор), що містить кінематично з'єднані за допомогою шестерень два котки та диск, розташований між ними. Осі валів варіатора розташовані в одній площині, що зумовлює для забезпечення притиску котків до диску необхідність їх радіального переміщення, що можливо лише при зміні міжосьової відстані шестерень. Таке конструктивне рішення призводить до порушення точності зубчастого зачеплення шестерень і, як наслідок, до зниження довговічності їх роботи і варіатора в цілому.

Автори пропонують нову конструкцію варіатора (рис. 1), де вказаний недолік відсутній завдяки використанню двоплечого важеля з двома підшипниками та пружиною розтягу, вільно встановленого на ведучому валу варіатора. Таке рішення дозволяє здійснювати притиск котків до диску без зміни міжосьової відстані шестерень, що призводить до стабільності взаємодії останніх між собою, не порушуючи точність їх зубчастого зачеплення і, відповідно, до підвищення довговічності роботи варіатора.

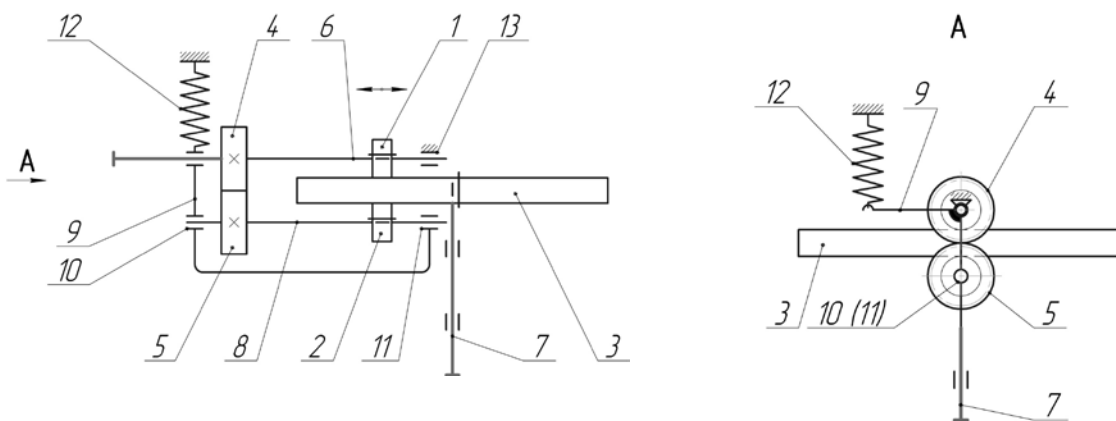


Рис. 1. Кінематична схема двопоточного лобового варіатора

Запропонований варіатор містить кінематично з'єднані між собою два котки 1, 2, диск 3, розташований між ними, дві циліндричні шестерні 4, 5, ведучий 6, ведений 7, проміжний 8 вали та двоплечий важіль 9 з двома підшипниками 10, 11 і пружиною розтягу 12, вільно встановлений на ведучому валу 6. Коток 1 і шестерня 4 встановлені на ведучому валу 6, розташованому в нерухомих підшипниках 13, причому коток встановлений з можливістю осьового переміщення, а шестерня жорстко закріплена на ведучому валу. Коток 2 встановлений на проміжному валу 8 з можливістю синхронного з котком 1 осьового переміщення вздовж проміжного вала, а шестерня 5 жорстко закріплена на ньому. Диск 3 встановлений на веденому валу 7 з можливістю осьового переміщення. Підшипники 10, 11 розташовані в одному плечі двоплечого важеля 9 і в них встановлений проміжний вал 8 з шестернею 5 та котком 2, а пружина розтягу 12 приєднана до другого плеча двоплечого важеля 9.

Принцип роботи варіатора полягає в наступному. Обертальний рух ведучого вала 6 передається котку 1 та за допомогою шестерень 4, 5 проміжному валу 8 і котку 2, встановленому на ньому. Коток 2, встановлений на проміжному валу 8, розташованому в двоплечому важелі 9, за допомогою пружини 12 притискується до диска 3, який, оскільки встановлений на ковзній шпонці, притискується до котка 1. Сили тертя, що виникають при

цьому в парах коток 2 – диск 3 і коток 1 – диск 3, зумовлюють обертальний рух диска 3 і з'єднаного з ним веденого вала 7. Сили притиску котка 1 до диска 3 і котка 2 до диска 3 взаємно урівноважуються, як такі, що рівні по величині та протилежно направлені. При зміні товщини робочої поверхні диска 3, зумовленої її зношенням в процесі експлуатації, притиск котків 1, 2 до диска 3 не порушується, оскільки проміжний вал 8 має можливість разом з двоплечим важелем 9 переміщатись по дузі кола, радіус якого залишається незмінним, що забезпечує постійність міжосьової відстані шестерень 4, 5.

Регулювання швидкості обертання веденого вала 7 досягається шляхом синхронного переміщення котків 1, 2 вздовж відповідно ведучого 6 та проміжного 8 валів по ковзних шпонах за допомогою спеціального механізму (на рис. 1 не показаний). Синхронне осьове переміщення котків 1, 2, що обертаються з постійною частотою, призводить до зміни робочого радіуса диска 3 і, таким чином, до зміни швидкості обертання веденого вала 7, на якому він встановлений. При цьому переміщення котків вправо (згідно рис. 1) зменшує величину робочого радіуса диска, що призводить до збільшення частоти обертання веденого вала. При переміщенні роликів вліво робочий радіус диска збільшується і частота обертання веденого вала зменшується.

Основні параметри варіатора вибираються з використанням відомих методів розрахунку фрикційних передач та варіаторів [3, 4, 6, 7].

Діаметр котків d_1 знаходиться із умови (при постійному моменті на виході варіатора):

$$d_1 = 1,023 \sqrt{\frac{E}{\psi i_{min}^2 f [\sigma]^2}} \beta T_2, \quad (1)$$

де E - приведений модуль пружності матеріалу котків та диску, $E = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}$;

E_1, E_2 - модуль пружності матеріалу котка та диску відповідно;

ψ - коефіцієнт ширини котка, $\psi = b / r_{2min}$ або $\psi = \frac{2\beta}{\frac{1+\beta}{\varepsilon} + 1}$; (2)

b - ширина лінії контакту (ширина котка);

r_{2min} - мінімальний розрахунковий радіус диску;

β - коефіцієнт надійності роботи варіатора, $\beta = 1,25 \dots 1,5$;

ε - коефіцієнт ковзання пари коток-диск, $\varepsilon = 0,005 \dots 0,02$;

i_{min} - мінімальне передаточне число варіатора, $i_{min} = d_{2min} / d_1$;

d_{2min} - мінімальний розрахунковий діаметр диску;

f - коефіцієнт тертя пари коток-диск;

$[\sigma]$ - допустиме контактне напруження матеріалу котків;

T_2 - крутний момент на вихідному валу варіатора, зумовлений взаємодією одного котка з диском, $T_2 = 0,5T$;

T - сумарний крутний момент на виході варіатора.

Максимальний та мінімальний робочі діаметри диска знаходяться із залежностей:

$$d_{2max} = i_{max} d_1; \quad d_{2min} = \frac{d_{2max}}{D}, \quad (3)$$

де i_{max} - максимальне передаточне число варіатора;

D - діапазон регулювання швидкості варіатора, $D = i_{max} / i_{min}$. (4)

Ширина котків знаходиться із урахуванням залежності (2):

$$b = \psi r_{2min} = 0,5\psi d_{2min}. \quad (5)$$

Одним із важливих питань проектування лобових фрикційних варіаторів, в тому числі і запропонованого, є визначення сили переміщення котка (котків).

Розглянемо вплив параметрів лобового варіатора на зусилля переміщення котка відносно диску F_{np} .

Як відомо [6]:

$$F_{np} = \frac{F_m}{\sqrt{1 + \left(\frac{V_c}{V_n}\right)^2}}, \quad (6)$$

де F_m - сила тертя в парі коток-диск варіатора,

$$F_m = \beta T_t = \frac{2\beta T_2}{d_{2min}}; \quad (7)$$

T_t - колова сила диску, $T_t = \frac{2T_2}{d_{2min}}$;

V_C - середня величина геометричного ковзання пари коток-диск;

V_n - швидкість переміщення котка.

Знаходимо геометричне ковзання пари коток-диск.

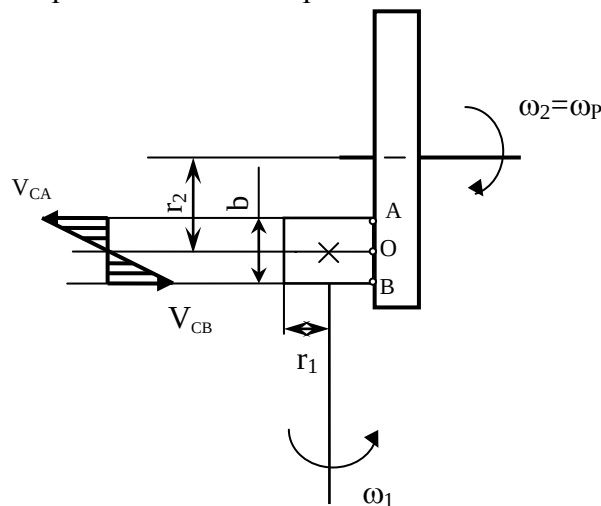


Рис. 2. Розрахункова схема знаходження геометричного ковзання пари коток-диск

Очевидно (рис. 2):

$$V_{CA} = V_{A2} - V_{A1}; \quad V_{CB} = V_{B2} - V_{B1}, \quad (8)$$

де V_{CA}, V_{CB} - геометричне ковзання відповідно в точках А і В;
 V_{A1}, V_{B1} - колова швидкість котка відповідно в точках А і В;
 V_{A2}, V_{B2} - колова швидкість диска відповідно в точках А і В.

Для нашого випадку, згідно з рис.2:

$$V_{A1} = V_{B1} = \omega_1 r_1; \quad V_{A2} = (r_2 - 0,5b)\omega_2, \quad (9)$$

де ω_1, ω_2 – кутова швидкість відповідно котка та диска;
 b – ширина котка.

Підставивши вирази (8) в рівняння (7) та враховуючи, що $\omega_2 = \omega_1 r_1 / r_2$, знаходимо:

$$v_{CA} = \left[(r_2 - 0.5b) \frac{r_1}{r_2} - r_1 \right] \omega_1 = -\frac{r_1 b}{2r_2} \omega_1; \quad (10)$$

$$v_{CB} = \left[(r_2 + 0.5b) \frac{r_1}{r_2} - r_1 \right] \omega_1 = \frac{r_1 b}{2r_2} \omega_1. \quad (11)$$

Тоді середня величина геометричного ковзання пари ролик-диск становить [6]:

$$V_C = \frac{V_{Cmax}}{2} = \frac{V_{CB}}{2} = \frac{r_1 b}{4r_2} \omega_1. \quad (12)$$

Висновки. Запропонована конструкція двопоточного лобового фрикційного варіатора дозволяє стабілізувати процес зачеплення шестерень, що кінематично з'єднують котки варіатора, незалежно від режиму його роботи та зношення робочих поверхонь котків і диску, що призводить до підвищення надійності та довговічності роботи варіатора.

Запропонований метод вибору раціональних параметрів робочих елементів двопоточного лобового фрикційного варіатора та залежність, що дозволяє знайти необхідну силу переміщення котків відносно диску в процесі регулювання швидкості вихідного вала варіатора, може бути використаний для вирішення питань створення нових перспективних та ефективних конструкцій лобових фрикційних варіаторів.

Список використаних джерел

1. Хомяк О. Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О. Н. Хомяк, Б. Ф. Піпа. - М. : Легпромбытиздат, 1990. - 209 с.
2. Піпа Б. Ф. Механізми відтяжки та накатування полотна круглов'язальних машин (нові розробки та елементи розрахунків) / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, О. Ю. Олійник. – К. : КНУТД, 2009. – 234 с.
3. Піпа Б.Ф. Деталі машин / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – К. : КНУТД, 2011. – 358 с.
4. Піпа Б. Ф. Нові конструкції деталей, вузлів та механізмів машин / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – К. : КНУТД, 2006. – 322 с.
5. Пат. Україна, МПК F16H 15/12. Фрикційний варіатор / Піпа Б. Ф., Хомяк О. М. - № 2003098536 ; заявл. 17.09.2003 ; опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6. - 2 с.
6. Пронин Б. А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) / Б. А. Пронин, Г. А. Ревков. – М. : Машиностроение, 1967. – 404 с.
7. Піпа Б. Ф. Двупоточна фрикційна передача та особливості її розрахунку / Б. Ф. Піпа, В. П. Місяць, В. В. Чабан // Вісник ХНУ. – 2011 – № 1. – С. 34-38.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДВУХПОТОЧНОГО ЛОБОВОГО ФРИКЦИОННОГО ВАРИАТОРА

МЕСЯЦ В. П.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Совершенствование двухпоточного лобового фрикционного вариатора и выбор его рациональных параметров.

Методика. Используются современные методы теории проектирования фрикционных передач и вариаторов.

Результаты. На основе анализа существующих конструкций двухпоточных лобовых фрикционных вариаторов установлено, что основным их недостатком является необходимость изменения межосевого расстояния шестерен, кинематически соединяющих катки между собой. Такое конструктивное решение приводит к изменению стабильности работы зубчатого зацепления шестерен и, как следствие, к снижению долговечности их работы и вариатора в целом. Авторы предлагают принципиально новую конструкцию двухпоточного лобового фрикционного вариатора, где этот недостаток ликвидирован. Стабильность межосевого расстояния шестерен вариатора позволяет стабилизировать процесс их зацепления независимо от режима работы и износа катков и диска, что имеет место в процессе работы вариатора. Авторы предлагают также метод выбора рациональных параметров рабочих элементов (катков и диска) двухпоточного фрикционного вариатора и зависимость, позволяющую найти необходимую силу перемещения катков относительно диска в процессе регулирования скорости выходного вала вариатора.

Научная новизна. Развитие научных основ и инженерных методов проектирования лобовых фрикционных вариаторов.

Практическая значимость. Разработка новой конструкции двухпоточного лобового фрикционного вариатора с постоянным межосевым расстоянием шестерен, кинематически соединяющих катки, и инженерного метода выбора его рациональных параметров.

Ключевые слова: лобовой фрикционный вариатор, двухпоточный лобовой фрикционный вариатор, катки фрикционного вариатора, диск фрикционного вариатора, метод расчета лобового фрикционного вариатора.

DUAL-STREAM FRONT FRICTION VARIATOR PARAMETER SELECTION MISIATS V.P.

Kiev National University of Technology and Design

Purpose. Improving Dual-Stream frontal friction variator and his choice of rational parameters.

Methodology. Modern methods of design theory of friction transmission and CVT was used.

Findings. It is based on the analysis of existing designs frontal dual-flow friction CVTs found that the main disadvantage is the need to change the distance between the centers of gears, rollers kinematically connecting with each other. This design leads to a change in the stability of the toothed gears and, consequently, to a decrease in their performance and durability of the variator as a whole. The authors propose a fundamentally new design Dual-Stream frontal friction variator, where the lack eliminated. The stability of the variator gear axle distance allows the process of engagement regardless of the mode of operation and wear of rollers and drive that takes place during the operation of the variator. The authors also suggest the method of choice of rational parameters of working elements (rollers and disc) dual stream and the dependence of the friction variator that allows to find the necessary strength rollers move relative to the disc in the process of controlling the speed of the output shaft of the variator.

Originality. Development of scientific principles and methods of engineering design frontal friction CVTs.

Practical value. Development of a new design double-beam head-friction variator with fixed center distance of gears kinematically connecting rollers, and engineering method of selection of the rational parameters.

Key words: frontal friction variator, double-flow front friction variator rollers friction variator drive friction variator, the method of calculating the friction head-variator.

УДК 62-67

ПАСІЧНИК П.О., ШВАЧКО Н.А., БІЛАН Р.В.,
МИРОНОВА Л.О.
Київський національний університет будівництва і архітектури

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОВІТРЯНИХ ГЕЛІОСИСТЕМ ЗА РАХУНОК ЕНЕРГІЇ ВІТРУ

Мета. Розробка рішень щодо підвищення ефективності повітряної геліосистеми, розробленої на основі повітряного сонячного колектору з абсорбером із вуглеграфітової тканини.

Методика. Ретельний аналіз факторів, які впливають на погіршення ефективності повітряних геліосистем та інженерна розробка технічних рішень для усунення цих факторів.

Результати. Описано схему використання енергії вітру для підвищення ефективності повітряних геліосистем. Розроблено інженерна методика розрахунку такої схеми у вигляді номограми для вибору обладнання.

Наукова новизна. Вперше запропоновано спосіб використання енергії вітру для підвищення ефективності повітряних геліосистем.

Практична значимість. Розроблено методику інженерного розрахунку геліосистем з використанням енергії вітру на основі реального обладнання.

Ключові слова: сонячний повітропідігрівач, вуглеграфітова тканина, енергія вітру, геліотехніка.

Вступ. Головною причиною низької адаптованості геліосистем теплопостачання в реальні енергозатратні галузі промисловості та народного господарства є доволі низька ефективність цих систем і їх елементів. Основним елементом будь-якої геліосистеми є сонячний колектор. Його ефективність суттєво залежить від мінливих погодних умов, таких як напрям та сила вітру, хмарність, туманність і т.д. Відомі шляхи збільшення ефективності колекторів – це зменшення тепловтрат колектора, збільшення ефективності відводу теплоти від абсорбера, оптимізація способу установки колекторів (кут нахилу, орієнтація і т.д.). Дослідженню цих шляхів присвячено багато наукових та інженерних праць [1-4], в яких досить широко описані ті чи інші методи оптимізації технічних характеристик сонячних нагрівачів. Та все ж при розробці нових, нестандартних конструкцій сонячних теплових колекторів з'являється необхідність в пошуку нестандартних шляхів підвищення їх ефективності.

Єдиним корисним використанням енергії вітру може бути її перетворення в електричну енергію. Важливою проблемою у генерації електроенергії є нестабільність вітрового потоку, що призводить до використання коштовних інверторів, акумуляторів, стабілізаторів та ін. Використання нових типів сонячних повітропідігрівачів з абсорбером із електропровідної вуглеграфітової тканини [5,6] дає можливість подавати «брудну» електроенергію відразу з вітрогенератора на нагрівач перетворюючи її в корисну теплову енергію.

Мета. Розробка рішень щодо збільшення ефективності повітряної геліосистеми, розробленої на основі повітряного сонячного колектора з абсорбером із вуглеграфітової тканини.

Постановка задачі. Аналіз впливу інтенсивності вітру на теплові втрати сонячного

колектора. Розробка схеми сумісної роботи сонячного повітропідігрівача та вітрогенераторів.

1. Вплив інтенсивності вітру на ефективність сонячного теплового колектору.

Однією з визначальних енергетичних характеристик сонячних колекторів є коефіцієнт відведення теплоти від колектору F_R [7]:

$$F_R = \frac{G \cdot c_p}{U_L} \left(1 - e^{\frac{-U_L \cdot F'}{G \cdot c_p}} \right), \quad (1)$$

де G - витрата теплоносія через колектор, кг/с; c_p - питома теплоємність теплоносія, кДж/(кг·К); U_L - повний коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора, Вт/(м²·К); F' - коефіцієнт ефективності поглинача сонячної енергії.

Повний коефіцієнт теплових втрат геліоколектору рівний [7]:

$$U_L = U_1 + U_b, \quad (2)$$

де U_1 - коефіцієнт тепловтрат через світлопрозоре покриття колектора, Вт/(м²·К); U_b - коефіцієнт тепловтрат через дно і бокові стінки колектору, Вт/(м²·К).

$$U_1 = \left(\frac{1}{\alpha_{A-C}^K + \alpha_{A-C}^P} + \frac{1}{\alpha_{C-HC}^K + \alpha_{C-HC}^P} \right)^{-1}, \quad (3)$$

де α_{A-C}^K - коефіцієнт теплопередачі конвекцією від абсорбера до світлопрозорого покриття Вт/(м²·К); α_{A-C}^P - коефіцієнт теплопередачі випромінюванням від абсорбера до світлопрозорого покриття Вт/(м²·К); α_{C-HC}^K - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від світлопрозорого покриття до навколишнього середовища; α_{C-HC}^P - коефіцієнт теплопередачі випромінюванням між світлопрозорим покриттям і навколишнім середовищем.

Вітер впливає на коефіцієнт F_R лише через α_{C-HC}^K , який розраховується згідно [7]:

$$\alpha_{C-HC}^K = 5,7 + 3,8 \cdot V_B, \quad (4)$$

де V_B - швидкість вітру, м/с.

Зазвичай у плоских повітряних сонячних колекторах $U_b \gg U_1$, а $\alpha_{C-HC}^K \gg \alpha_{C-HC}^P$ - це означає, що тепловтрати прямопропорційні швидкості вітру, який обдуває геліоколектор.

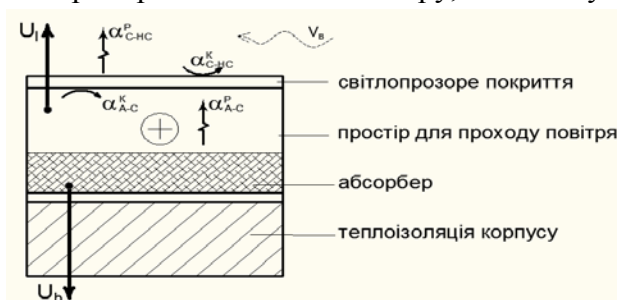


Рис. 1. Спрощена фізична модель теплообміну сонячного повітрянагрівача з навколишнім середовищем

2. Розрахунок електричної потужності вітрогенератора. При розрахунку потужності вітрогенератора спочатку визначають потужність вітрового потоку [8]:

$$P_{\Pi} = 0,5 \cdot \rho \cdot S_p \cdot V_B^3, \quad (5)$$

де ρ - густина повітря, кг/м³; S_p - площа круга обертання ротору.

При перетворенні механічної енергії в електричну отримуємо значні втрати енергії,

тому отримана електрична потужність буде визначатися з виразу [8]:

$$P_{BE} = 0,5 \cdot \rho \cdot S_p \cdot V_B^3 \cdot C_Z \cdot N_b \cdot N_g, \quad (6)$$

де C_Z – коефіцієнт використання енергії вітру (0,35 - гарний конструктив); N_b – ККД генератора (0,6 для автомобільного, 0,8 для генератора на постійних магнітах); N_g – ККД підвищувального редуктора (0,7-0,9).

3. Сумісна робота вітрогенератора і сонячного теплового колектора.

Електротехнічні властивості вуглеграфітових тканин [9] дозволяють ефективно використовувати їх у якості електронагрівачів. Застосовуючи такі тканини у якості абсорбера для повітряних геліоколекторів, виникає можливість догрівати теплоносії за рахунок електроенергії. Для нівелювання тепловтрат повітряним геліоколектором, які спричинені омиваючим його вітром, необхідно застосовувати малі вітрогенератори. (рис.2). У відомих вітрових системах генерації електричної енергії [8] у ланцюгу з генератором також розміщений інвертор (перетворювач постійного струму в змінний), акумулятор, стабілізатор напруги (для приведення параметрів струму у відповідність з вимогами мережі). Всі перераховані елементи складають 50-60% від вартості всього вітрогенератора. Для вказаної схеми додаткові елементи непотрібні. Оскільки для України зони найбільшої інтенсивності сонячного випромінювання майже збігаються із зонами найпотужніших вітрів [10], то при застосуванні запропонованої схеми, можна знівелювати втрати теплоти геліоколектора за рахунок електроенергії, що виробляється на вітряку.

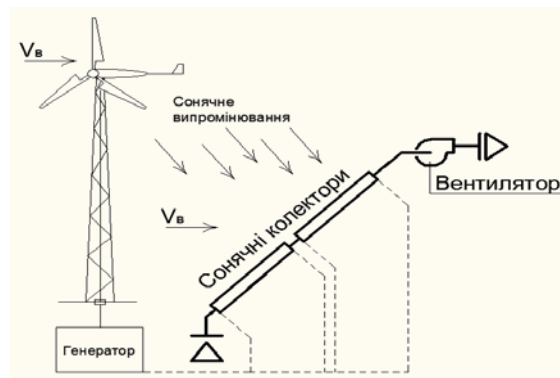


Рис.2. Схема сумісної роботи сонячного повітропідігрівача та вітрогенератора малої потужності

По наведеними вище розділам статті можна побудувати залежність для інженерного підбору вітрогенераторів малої потужності для сонячних повітропідігрівачів. На рис.3 наведено розроблену авторами номограму для підбору вітряків компанії Winder [11] для комбінованих сонячно-електричних повітропідігрівачів [5]. На діаграмі приведено чотири типорозміри вітряків (Т06 – 600Вт, Т12 – 1200 Вт, Т23 – 2300 Вт, W6 – 5 кВт) при різних різницях температур світлопрозорого покриття та навколишнього середовища. Суцільні лінії вказують втрати теплоти, які спонукає вітер, 1 м² середньостатистичного повітряного геліоколектора; пунктирними лініями показано кількість енергії отриманої від вітрогенератора. По осі ординат розміщена швидкість вітру, по осі абсцис теплова потужність.

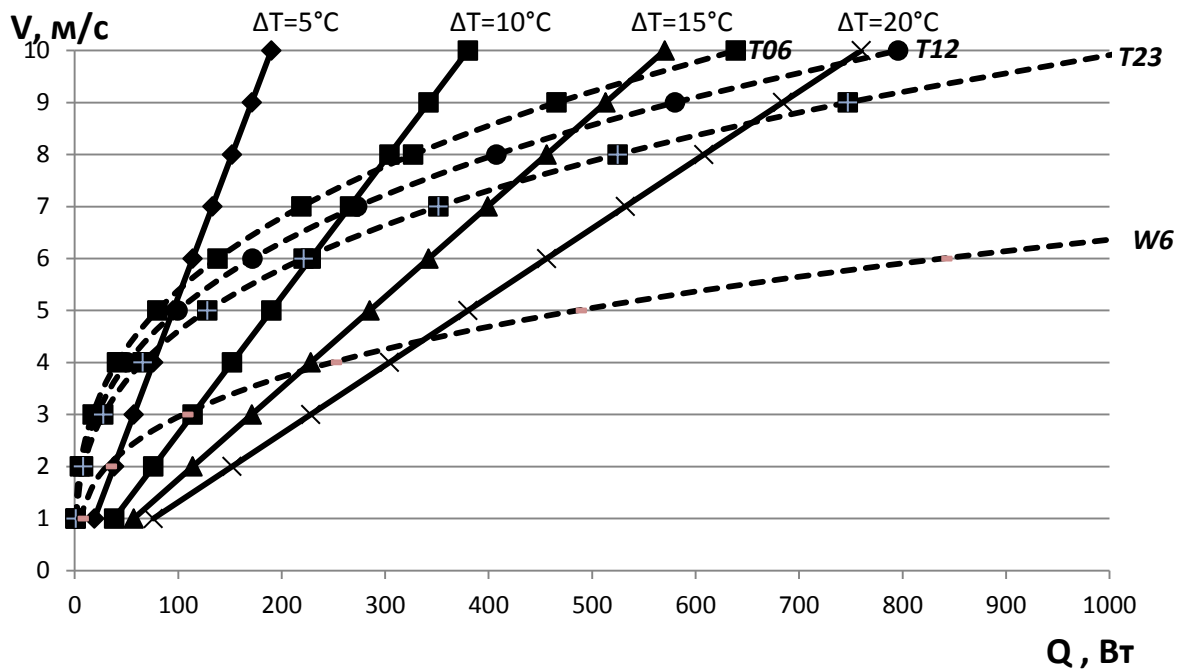


Рис.3. Номограма підбору вітрогенераторів малої потужності Winder для сонячних повітропідігрівачів з абсорбером із вуглеграфітової тканини

Висновки:

В результаті проведених досліджень:

- проаналізовано механізм негативного впливу вітру на ефективність сонячних колекторів;
- спосіб нівелювання цього впливу за рахунок впровадження у геліосистеми вітрогенераторів малої потужності;
- побудовано номограму для інженерного розрахунку комбінованої схеми використання вітрової та сонячної енергії на основі існуючих вітрогенераторів малої потужності та повітрянагрівачів з абсорбером, виготовленим із вуглеграфітової тканини.

Список використаних джерел

1. Аvezов Р.Р., Повышение эффективности использования низкопотенциальных солнечных нагревателей в системах теплоснабжения. Дис. ... докт.техн.наук – Ташкент, 1990 – 452 с.
2. Приймак А.В. Гелиосистема теплоснабжения с воздушным коллектором солнечной энергии матричного типа. Дис. ... канд.техн.наук – Киев, 1989 – 177 с.
3. Аббасов Е.С., Умурзакова М.А. Оценка теплогидравлической эффективности лучепоглощающих поверхностей солнечных воздушных нагревателей // Гелиотехника, 2005 №2. – С. 45-48.
4. Jaurker A.R., Saini J.S., Gandhi B.K., Heat transfer coefficient and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness // Solar Energy, 2006 80(8). – P.895-907.
5. Пасічник П.О., Сонячно-електричний повітряний тепловий колектор. Патент України на корисну модель №975415 U, 25.03.2015.
6. Пасічник П.О., Експериментальне дослідження поглинаючої здатності абсорбера

сонячного випромінювання виготовленого з вуглеграфітової тканини // Енергоефективність в будівництві та архітектурі – Вип. 7/– К.: КНУБА, 2015. – С.194-197.

7. *Даффи Д.*, Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Д. Даффи., У. Бекман. — Москва: Мир, 1977. 354 с.

8. *Шефтер Я.И.*, Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты / Я.И. Шефтер, И.В. Рождественский. – Москва: Колос, 1967. – 376 с.

9. *Пасічник П.О., Приймак О.В.*, Аналіз властивостей текстильних матеріалів для поглинаючого елемента повітряного колектора сонячної енергії // Енергоефективність в будівництві та архітектурі – Вип. 4/– К.: КНУБА, 2013. – С.201-204.

10. ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010 «Будівельна кліматологія». – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.

11. Компанія Winder: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://winder.ua>.

References

1. *Avezov R.R.* Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya nizkopotentsialnykh solnechnykh nagrevateley v sistemakh teplosnabzheniya. Dis. ... dokt.tehn.nauk – Tashkent, 1990 – 452 p.

2. *Priymak A.V.* Geliosistema teplosnabzheniya s vozdushnyim kollektorom sonlnechnoy energii matrichnogo tipa. Dis. ... kand.tehn.nauk – Kiev, 1989 – 177 p.

3. *Abbasov E.S., Umurzakova M.A.* Otsenka teplogidravlicheskoй effektivnosti luchepogloschayushchikh poverhnostey solnechnykh vozdushnykh nagrevateley // Geliotekhnika, 2005 №2. – P. 45-48.

4. *Jaurker A.R., Saini J.S., Gandhi B.K.*, Heat transfer coefficient and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness // Solar Energy, 2006 80(8). – P.895-907.

5. *Pasichnik P.O.*, Sonyachno-elektrychnyy povitryanny teplovyy kolektor. Patent Ukrainy na korysnu model' #975415 U, 25.03.2015.

6. *Pasichnik P.O.*, Eksperimentalne doslidzhennya pohlynayuchoyi zdatnosti absorbera sonyachnogo viprominyuvannya vigotovlenogo z vuglegrafitovoyi tkanini – Vol. 7/– К.: КНУБА, 2015. – 194-197 p.

7. *Daffi D.*, Teplovyie protsessyi s ispolzovaniem solnechnoy energii / D. Daffi., U. Bekman. — Moskva: Mir, 1977. 354 p.

8. *Shefter Y.I.*, Vetronasosnyie i vetroelektricheskie agregaty / Ya.I. Shefter, I.V. Rozhdestvenskiy. – Moskva: Kolos, 1967. – 376 p.

9. *Pasichnik P.O., Pryymak O.V.*, Analiz vlastyivostey tekstyl'nykh materialiv dlya pohlynayuchoho elementa povitryanoho kolektora sonyachnoyi enerhiyi // Enerhoefektyvnist' v budivnytstvi ta arkhitekturi – Vyp. 4/– К.: КНУБА, 2013. – P.201-204.

10. DSTU-N B V.1.1 – 27:2010 «Budivel'na klimatolohiya». – Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 123 s.

11. Company Winder: [Electronic resource]. - Access mode: <http://winder.ua>.

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Приймаком О.В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ГЕЛИОСИСТЕМ ЗА СЧЕТ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

ПАСЕЧНИК П.А., ШВАЧКО Н.А., БИЛАН Р.В., МИРОНОВА Л.А.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Цель. Разработка решений по повышению эффективности воздушной гелиосистемы, которая разработана на основе воздушного солнечного коллектора с абсорбером из углеграфитовой ткани.

Методика. Глубокий анализ факторов, которые влияют на ухудшение эффективности воздушных гелиосистем и инженерная разработка технических решений для нейтрализации этих факторов.

Результаты. Описано схему использования энергии ветра для повышения эффективности воздушных гелиосистем. Разработано инженерный метод расчета такой схемы в виде номограммы для выбора оборудования.

Научная новизна. Впервые предложено способ использования энергии ветра для повышения эффективности воздушных гелиосистем.

Практическая значимость. Разработано методику инженерного расчета гелиосистем с использованием энергии ветра на основе реального оборудования.

Ключевые слова: солнечный воздухоподогреватель, углеграфитовая ткань, энергия ветра, гелиотехника.

RESEARCH CONVECTIVE HEAT TRANSFER FROM SOLAR AIR HEATER ABSORBERS, WHICH IS MADE OF CORRUGATED CARBON TEXTILE

PASICHNIK P., SHVACHKO N., BILAN R., MIRONOVA L.

The Kiev National University of Construction and architecture

Purpose is to develop the solutions to improve the efficiency of solar air system, which is developed on the basis of an air solar collector with an absorber of carbon fabric.

Methodology. The deep analysis is made to show the factors that affect the deterioration of the air solar system efficiency and engineering development of technical solutions to neutralize these factors.

Results. It is described wind energy scheme which improves the efficiency of air solar systems. The engineering calculation method of such scheme is developed in the form of a selection nomogram for the equipment.

Scientific novelty. For the first time a way to use wind power to improve the efficiency of air solar plants is proposed.

Practical value. Engineering calculation method for solar systems using wind power based on the real equipment is developed.

Keywords: solar air heater, carbon textile, wind power, solar technology.

УДК 677.055

МУЗИЧИШИН С.В., ППА Б.Ф., ШИПКО Д.О.
Київський національний університет технологій та дизайну

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
ПРИСТРОЮ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ
НАВАНТАЖЕНЬ НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ
ПРИВОДА КРУГЛОВ'ЯЗальної МАШИНИ**

Мета. Експериментальні дослідження впливу пристрою зниження динамічних навантажень з циліндричною пружиною кручення на динамічні навантаження привода круглов'язальної машини МС-5.

Методика. Використані сучасні методи досліджень, що базуються на теорії динамічних процесів в механічних системах та статистичних методах обробки результатів експериментальних досліджень динамічних навантажень.

Результати. Виконано експериментальні дослідження впливу пристрою зниження динамічних навантажень з циліндричною пружиною кручення на динамічні навантаження, що виникають під час пуску круглов'язальної машини МС-5. Встановлено, що використання пристрою зниження динамічних навантажень з циліндричною пружиною кручення в приводі круглов'язальної машини МС-5 дозволяє знизити пускові динамічні навантаження привода майже в 2 рази, що позитивно впливає як на підвищення надійності і довговічності роботи машини, так і на підвищення якості в'язального полотна. Досліджуваний діапазон зміни жорсткості пружин кручення пристрою зниження динамічних навантажень, вибраний з урахуванням особливостей конструкції привода круглов'язальної машини МС-5, практично не впливає на ефективність його впливу на зниження динамічних навантажень в приводі, що підтверджує результати аналітичних досліджень.

Наукова новизна. Вперше проведено експериментальні дослідження впливу пристрою зниження динамічних навантажень з циліндричною пружиною кручення на динамічні навантаження привода круглов'язальної машини типу КО.

Практична значимість. Результати експериментальних досліджень впливу пристрою зниження динамічних навантажень з циліндричною пружиною кручення на динамічні навантаження, що виникають під час пуску круглов'язальної машини.

Ключові слова: експериментальні дослідження динаміки в'язальних машин, привід в'язальної машини, динамічні навантаження привода, пристрій зниження динамічних навантажень.

Вступ. Особливістю обладнання легкої промисловості є значні динамічні навантаження, що виникають в період несталих режимів роботи [1, 2] і є однією з основних причин зниження надійності та довговічності його роботи. Тому при проектуванні в'язальних машин та автоматів слід приділяти увагу зниженню динамічних навантажень в приводі. Вирішення цієї проблеми без використання пристроїв зниження динамічних навантажень (ПЗДН) та експериментальних досліджень перевірки ефективності їх роботи неможливе.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи технологічного обладнання легкої промисловості, завданням роботи є експериментальні дослідження впливу ПЗДН з циліндричною пружиною кручення на динамічні навантаження в приводі круглов'язальної машини МС-5.

Результати дослідження. При проведенні досліджень була використані сучасна методика експериментальних досліджень динамічних навантажень, що виникають в механічних системах в період несталого режиму руху [2].

В якості експериментальної установки була використана круглов'язальна машина МС-5, встановлена у науково-виробничій лабораторії Київського національного університету технологій та дизайну.

Для проведення експериментальних досліджень привід круглов'язальної машини був модернізований – додатково обладнаний ПЗДН з циліндричною пружиною кручення, запропонованим авторами [3]. Обладнання приводу круглов'язальної машини ПЗДН дозволяє здійснювати пуск машини при попередньо напружених в'язях привода та обмеженому пусковому моменту електродвигуна, що позитивно впливає на зниження динамічних навантажень [2, 3].

Умови експерименту:

- при проведенні експериментальних досліджень динамічних навантажень привода як існуючої моделі круглов'язальної машини, так і модернізованої (установка в приводі ПЗДН) згідно з рекомендаціями [4, 5] заплановано виконати по 20 дослідів;

- з метою оцінки працездатності ПЗДН та впливу жорсткості пружини на ефективність зниження динамічних навантажень було виготовлено три циліндричні пружини кручення (пружина № 1, пружина № 2, пружина № 4), діаметр дроту яких становив 3,5, 4,5 та 6,0 мм відповідно;

- у всіх дослідях режим роботи круглов'язальної машини залишався однаковим;

- прийнята вірогідність результатів експерименту $\alpha = 0,95$.

Для кількісної оцінки діючих навантажень, що виникають в приводі круглов'язальної машини тензодатчики тарувалися.

З метою вибору тарувального вантажу попередньо були визначені сили притиску натяжного ролика до пасу пасової передачі привода для здійснення попереднього його натягу та в період сталого руху круглов'язальної машини.

Як відомо із теорії пасових передач, необхідний попередній натяг клинових пасів клинопасової передачі F_0 повинен задовольняти умові:

$$F_0 = A\sigma_0, \quad (1)$$

де A - площа перетину пасів (для нашого випадку одного пасу профілю А);

σ_0 - напруження пасу, зумовлене попереднім натягом, $\sigma_0 = 1,5$ МПа [6].

Враховуючи що для нашого випадку $A = 81$ мм [6] із (1) маємо: $F_0 = 121,5$ Н.

Сила притиску натяжного ролика до пасу Q_0 становить:

$$Q_0 = 2F_0 \cos \alpha = 2 \cdot 121,5 \cdot \cos 74,32^\circ = 65,67 \text{ Н.} \quad (2)$$

Сила притиску пасу до натяжного ролика в період сталого руху машини Q_{cm} становить [6]:

$$Q_{cm} = 2F_1 \cos \alpha, \quad (3)$$

де F_1 - натяг ведучої вітки пасу, $F_1 = 0,5F_t + F_0$; (4)

F_t - колове зусилля, що передається пасом при сталому русі машини,

$$F_t = \frac{2T}{d} = \frac{2P}{d\omega} = \frac{2 \cdot 1,7 \cdot 10^3}{81 \cdot 10^{-3} \cdot 148,7} = 282,3 \text{ Н;} \quad (5)$$

T - крутний момент ведучого шківів (вала електродвигуна);

d - діаметр ведучого шківів, $d = 81$ мм;

P - потужність електродвигуна, $P = 1,7$ кВт;

ω - кутова швидкість ротора, $\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi \cdot 1420}{30} = 148,7$ с⁻¹.

Тоді, враховуючи одержані результати згідно з (5) маємо:

$$F_1 = 0,5 \cdot 282,3 + 121,5 = 262,65 \text{ Н.} \quad (6)$$

Підставивши (6) в вираз (3) та нехтуючи деформацією важеля, знаходимо:

$$Q_{cm} = 2 \cdot 262,65 \cos 74,32^\circ = 141,97 \text{ Н.} \quad (7)$$

Враховуючи одержані результати, максимальна вага тарувального вантажу була вибрана 400Н.

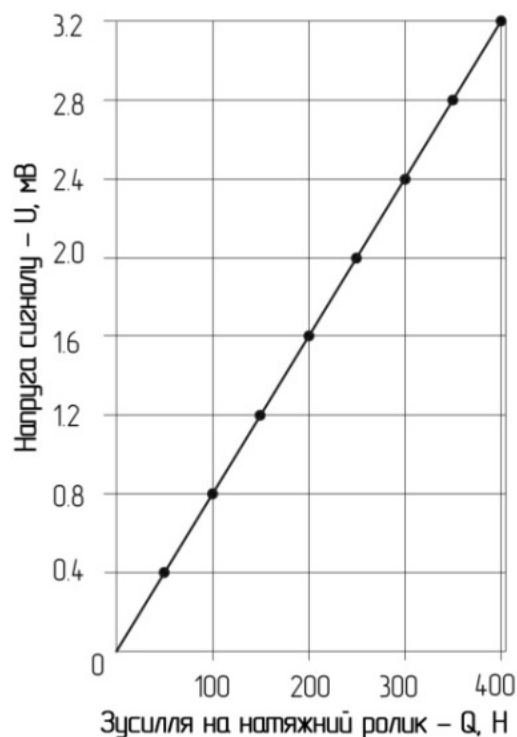


Рис. 1. Графік тарування тензодатчиків

По результатам тарування датчиків визначено масштаб запису навантажень (тиску паса на натяжний ролик), що виникають в пасовій передачі привода при роботі круглов'язальної машини: $\mu = 125$ Н/мВ.

Приклади осцилограм динамічних навантажень, що виникають при пуску круглов'язальної машини МС-5, показані на рис. 2, 3.

Результати експериментальних досліджень динамічних навантажень привода круглов'язальної машини МС-5 без ПЗДН приведені в табл. 1.

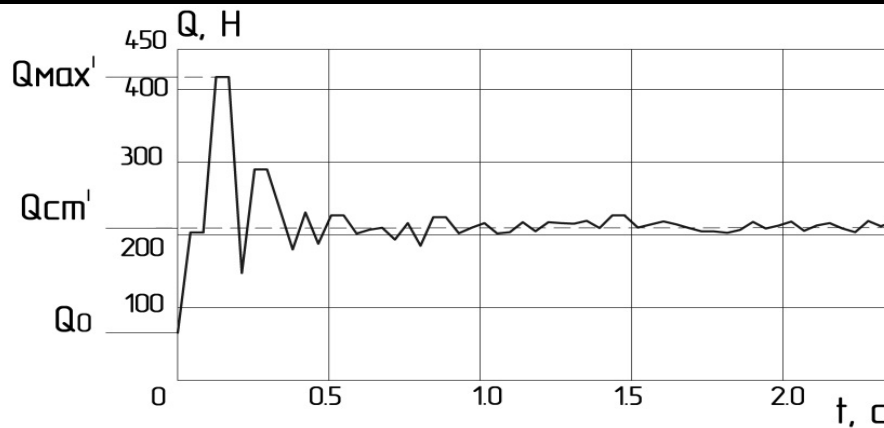


Рис. 2. Осцилограма динамічних навантажень привода круглов'язальної машини МС-5 без ПЗДН при пуску

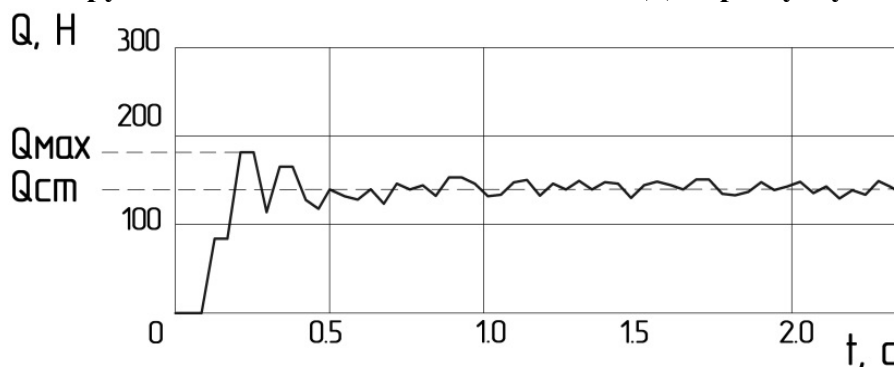


Рис. 3. Осцилограма динамічних навантажень привода круглов'язальної машини МС-5 з ПЗДН з циліндричною пружиною кручення, діаметр дроту якої 3,5 мм, при пуску

Таблиця 1.

Результати експериментальних досліджень динамічних навантажень привода круглов'язальної машини МС-5 без ПЗДН

Максимальне динамічне навантаження привода (з урахування попереднього натягу паса) $Q'_{i\max}$, Н	Кількість повторень результатів n_i	$n_i Q'_{i\max}$	Похибка окремих вимірів $\Delta Q'_{i\max}$	$n_i (\Delta Q'_{i\max})^2$
410,5	1	410,5	11,4	129,96
412,4	2	824,8	9,5	180,5
414,5	2	829,0	7,4	109,52
417,2	2	834,3	4,7	44,18
419,1	1	419,1	2,8	7,84
420,5	2	841,0	1,4	3,92
423,6	1	423,6	-1,7	2,89
425,1	2	850,2	-3,2	20,48
427,3	3	1281,9	-5,4	87,48
428,7	2	857,4	-6,8	92,48
430,4	1	430,4	-8,5	72,25
435,5	1	435,5	-13,6	184,96
	$n = 20$	$\Sigma 8437,7$		$\Sigma 936,46$

Обробка результатів експерименту виконувалась у відповідності з методикою [5]:

- середнє значення максимального динамічного навантаження приводу (з урахування попереднього натягу паса):

$$\bar{Q}'_{max} = \frac{\sum n_i Q'_{i max}}{n} = \frac{8437,7}{20} = 421,9 \text{ Н}; \quad (8)$$

- середня квадратична похибка результатів замірів:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum n_i (\Delta Q'_{i max})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{936,46}{20(20-1)}} = 2,46 \text{ Н}; \quad (9)$$

- границі довірчого інтервалу:

$$\Delta Q'_{max} = \sqrt{(t_\alpha \Delta S)^2 + \left(\frac{K_\alpha}{3} \gamma\right)^2} = \sqrt{(2,09 \cdot 2,46)^2 + \left(\frac{1,96}{3} \cdot 8,44\right)^2} = 7,54 \text{ Н}, \quad (10)$$

де t_α - коефіцієнт Стюдента; при $\beta = 0,95$ $t_\alpha = 2,09$ [5]; $K_\alpha = t_\alpha (n \rightarrow \infty) = 1,96$ [5];

γ - похибка вимірювальної та реєструючої апаратури,

$$\gamma = \frac{\beta \bar{Q}'_{max}}{100\%} = \frac{2 \cdot 421,9}{100\%} = 8,44 \text{ Н}; \quad (11)$$

$\beta = 2\%$ [2];

- відносна похибка серії вимірів:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta Q'_{max}}{\bar{Q}'_{max}} \cdot 100\% = \frac{7,54}{421,9} \cdot 100\% = 1,78\% . \quad (12)$$

Остаточний результат досліджень:

$$Q'_{max} = \bar{Q}'_{max} \pm \Delta Q'_{max} = (421,9 \pm 7,54) \text{ Н}.$$

Враховуючи вплив попереднього натягу паса, одержуємо:

$$\bar{Q}_{max} = \bar{Q}'_{max} - Q_0 = 421,9 - 65,7 = 356,2 \text{ Н}. \quad (13)$$

Приклад осцилограми динамічних навантажень приводу круглов'язальної машини МС-5 з ПЗДН з пружиною, діаметр дроту якої 3,5 мм, приведений на рис. 3. При цьому, для зручності, на осцилограмі представлені результати без урахування навантаження, зумовленого попереднім натягом паса клинопасової передачі.

Обробка результатів експерименту по оцінці впливу ПЗДН на динамічні навантаження виконана з використанням залежностей (8) - (13):

$$\bar{Q}_{1max} = 181,0 \text{ Н}; \quad \Delta S_1 = 2,64 \text{ Н}; \quad \gamma_1 = 3,62 \text{ Н}; \quad \Delta Q_{1max} = 5,66 \text{ Н}; \quad \varepsilon_1 = 3,12\% ;$$

$$\bar{Q}_{2max} = 182,04 \text{ Н}; \quad \Delta S_2 = 1,74 \text{ Н}; \quad \gamma_2 = 3,64 \text{ Н}; \quad \Delta Q_{2max} = 4,34 \text{ Н}; \quad \varepsilon_2 = 2,38\% ;$$

$$\bar{Q}_{3max} = 183,96 \text{ Н}; \quad \Delta S_3 = 1,43 \text{ Н}; \quad \gamma_3 = 3,68 \text{ Н}; \quad \Delta Q_{3max} = 3,83 \text{ Н}; \quad \varepsilon_3 = 2,08\% .$$

Остаточний результат досліджень:

$$Q_{1max} = \bar{Q}_{1max} \pm \Delta Q_{1max} = (181,0 \pm 5,66) \text{ Н};$$

$$Q_{2max} = \bar{Q}_{2max} \pm \Delta Q_{2max} = (182,04 \pm 4,34) \text{ Н};$$

$$Q_{3max} = \bar{Q}_{3max} \pm \Delta Q_{3max} = (183,96 \pm 3,83) \text{ Н}.$$

Узагальнені результати експериментальних досліджень представлені в табл. 2.

Таблиця 2.

Узагальнені результати експериментальних досліджень
динамічних навантажень привода круглов'язальної машини МС-5

Режим роботи машини	Навантаження від попереднього натягу паса, Н	Навантаження від сталого руху привода $Q_{ст}$, Н	Середня величина динамічного навантаження, $\bar{Q}_{max}, \bar{Q}_{kmax}$, Н	Коефіцієнт зниження динамічних навантажень, n_k
Без ПЗДН	65,67	141,97	356,20	
З пружиною № 1	65,67	141,97	181,00	1,97
З пружиною № 2	65,67	141,97	182,04	1,96
З пружиною № 3	65,67	141,97	183,96	1,94

Ефективність використання ПЗДН з пружиною кручення оцінювалась коефіцієнтом n_k впливу ПЗДН на зниження динамічних навантажень в приводі круглов'язальної машини:

$$n_k = \frac{\bar{Q}_{max}}{\bar{Q}_{kmax}}, \quad (14)$$

де $\bar{Q}_{max}, \bar{Q}_{kmax}$ - середня величина максимального динамічного навантаження, що виникає в приводі круглов'язальної машини МС-5 в період пуску без ПЗДН та при використанні ПЗДН з k -ою пружиною кручення, відповідно:

$$\bar{Q}_{max} = \bar{Q}'_{max} - Q_0; \quad \bar{Q}_{kmax} = \bar{Q}'_{kmax} - Q_0; \quad (15)$$

$\bar{Q}'_{max}, \bar{Q}'_{kmax}$ - середня величина максимального динамічного навантаження з урахування тиску паса на натяжний ролик Q_0 , зумовленого силою попереднього натягу паса, що виникає в приводі без ПЗДН та при використанні ПЗДН з k -ою пружиною кручення, відповідно.

Ефективність використання запропонованого ПЗДН в приводі круглов'язальної машини МС-5 може бути оцінена також за допомогою коефіцієнта динамічності n_d , що знаходиться із умови:

$$n_d = \frac{\bar{Q}_{max}}{Q_{ст}} \quad (16)$$

Результати розрахунків коефіцієнтів динамічності привода круглов'язальної машини МС-5 представлені в табл. 3.

Таблиця 3.

Коефіцієнт динамічності привода круглов'язальної машини МС-5

Режим роботи машини	Коефіцієнт динамічності привода n_d
Без ПЗДН	2,51
З ПЗДН (пружина № 1)	1,27
З ПЗДН (пружина № 2)	1,28
З ПЗДН (пружина № 3)	1,29

Висновки. Виконані дослідження показують наступне:

- використання пристрою зниження динамічних навантажень (ПЗДН) з циліндричною пружиною кручення в приводі круглов'язальної машини МС-5 дозволяє знизити пускові

динамічні навантаження привода майже в 2 рази, що позитивно впливає як на підвищення надійності і довговічності роботи машини, так і на підвищення якості в'язального полотна;

- досліджуваний діапазон зміни жорсткості пружин кручення ПЗДН, вибраний з урахуванням особливостей конструкції привода круглов'язальної машини МС-5, практично не впливає на ефективність його впливу на зниження динамічних навантажень в приводі, що підтверджує результати аналітичних досліджень;

- запропонований метод експериментальних досліджень може бути використаний для подальших досліджень впливу пристроїв зниження динамічних навантажень на динаміку будь-яких типів в'язальних машин та автоматів.

Список використаної літератури

1. Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Павленко Г.І. Динаміка круглов'язальних машин. – К: КНУТД, 2005. – 294 с.
2. Піпа Б.Ф., Чабан О.В., Музичишин С.В. Приводи в'язальних машин і автоматів з пристроями зниження динамічних навантажень (наукові основи і інженерні методи проектування). – К.: КНУТД, 2015. – 280 с.
3. Піпа Б.Ф., Рубанка М.М., Музичишин С.В. Аналіз доцільності використання пристрою з пружиною кручення для зниження динамічних навантажень в приводі технологічного обладнання та вибір його параметрів //Вісник КНУТД. -2014. - № 3 (77).- С.209-214.
4. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
5. Касандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 104 с.
6. Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Марченко А.І. Деталі машин. – К: КНУТД, 2011.– 358 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Зенкіним А.С.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УСТРОЙСТВА СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПРИВОДА КРУГЛОВЯЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ МУЗЫЧИШИН С.В., ПИПА Б.Ф., ШИПКО Д.А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Экспериментальные исследования влияния устройства снижения динамических нагрузок с цилиндрической пружиной кручения на динамические нагрузки привода кругловязальной машины МС-5.

Методика. Используются современные методы исследований, основанные на теории динамических процессов в механических системах и статистических методах обработки результатов экспериментальных исследований динамических нагрузок.

Результаты. Выполнены экспериментальные исследования влияния устройства снижения динамических нагрузок с цилиндрической пружиной кручения на динамические нагрузки, возникающие при пуске кругловязальной машины МС-5. Установлено, что использование устройства снижения динамических нагрузок с цилиндрической пружиной кручения в приводе кругловязальной машины МС-5 позволяет снизить пусковые динамические нагрузки привода почти в 2 раза, что положительно влияет как на повышение надежности и долговечности работы машины, так и на повышение качества вязального полотна. Исследуемый диапазон изменения жесткости пружин кручения устройства

снижения динамических нагрузок, выбранный с учетом особенностей конструкции привода кругловязальной машины МС-5, практически не влияет на эффективность его воздействия на снижение динамических нагрузок в приводе, что подтверждает результаты аналитических исследований.

Научная новизна. Впервые проведены экспериментальные исследования влияния устройства снижения динамических нагрузок с цилиндрической пружиной кручения на динамические нагрузки привода кругловязальной машины типа КО.

Практическая значимость. Результаты экспериментальных исследований влияния устройства снижения динамических нагрузок с цилиндрической пружиной кручения на динамические нагрузки, возникающие при пуске кругловязальной машины.

Ключевые слова: экспериментальные исследования динамики вязальных машин, привод вязальной машины, динамические нагрузки привода, устройство снижения динамических нагрузок.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF INFLUENCE DEVICES REDUCE DYNAMIC LOADS ON THE DYNAMIC LOADS LEAD CIRCULAR KNITTING MACHINES

MUZYCHISHIN S.V., PIPA B.F., SHYPKO D.A.

Kyiv national university of technologies and design

Aim. Experimental study of the effect of reducing the dynamic loads device with a cylindrical torsion spring on the dynamic load drive the circular machine MS-5.

Methodology. The use of modern methods of research based on the theory of dynamic processes in mechanical systems and statistical methods of processing the results of experimental studies of dynamic loads.

Results. Experimental study of the effect devices reduce dynamic loads with a cylindrical torsion spring on the dynamic loads occurring during start-up circular machine MS-5. It was found that the use of devices reduce dynamic loads with a cylindrical torsion spring to drive the circular machine MS-5 reduces inrush dynamic forces driving almost 2 times that has a positive effect on increasing the reliability and durability of the machine, and to improve the quality of knitting fabric. The test range of the rigidity of torsion springs devices reduce dynamic loads, the selected structural peculiarities drive the circular machine MC-5, has practically no effect on the efficiency of its impact on the reduction of dynamic loads in the drive, which confirms the results of analytical studies.

Scientific novelty. For the first time the experimental study of the effect of the device reduce dynamic loads on a cylindrical torsion spring on dynamic load drive circular knitting machine type КО.

Practical meaningfulness. The results of experimental studies of the effect devices reduce dynamic loads with a cylindrical torsion spring on the dynamic loads occurring during start-up circular knitting machine.

Keywords: experimental study of the dynamics of knitting machines, knitting machine drive, dynamic load drive device reducing dynamic loads.

УДК 004.056

РОЗЛОМІЙ І. О.

Черкаський національний університет імені Богдана
Хмельницького

ВИЯВЛЕННЯ ТА НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ ЗАГРОЗ БЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Мета. Підвищення рівня інформаційної безпеки (ІБ) електронних документів (ЕД).

Методика. В статті розглянуто особливості впровадження систем електронного документообігу (СЕД). Проведено аналіз ЕД, їх головних властивостей та функцій. Розглянуто стандартний набір загроз з метою побудови математичної моделі ІБ та можливих засобів і механізмів захисту ЕД.

Результати. Досліджено основні властивості ЕД такі, як конфіденційність, цілісність та достовірність. Сформовано перелік функцій ЕД. Показана схема життєвого циклу ЕД, що дозволяє формалізувати множину загроз на кожному етапі. Розглянуто принцип використання головного реквізиту ЕД, електронного цифрового підпису (ЕЦП). Побудовано схеми створення та перевірки ЕЦП на основі використання хеш-функцій.

Наукова новизна. На основі дослідження властивостей ЕД запропоновано математичну модель інформаційної безпеки ЕД.

Практична значимість. Відповідно до отриманих результатів, визначено засоби нейтралізації загроз та сформульовано вимоги щодо забезпечення захисту ЕД.

Ключові слова: електронний документ, життєвий цикл, інформаційна безпека, цифровий підпис, хеш-функція, ідентифікація, аутентифікація.

Вступ. Розвиток суспільства визначається рівнем домінування інформаційного середовища. Інформація стала невід'ємною складовою функціонування всіх суспільних установ і життя людини зокрема. Швидкий розвиток і впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій став причиною глобальної трансформації індустріального суспільства в інформаційне. Все більша частина інформації зберігається і передається в електронному вигляді. Технічний прогрес, обумовлений розвитком інформаційного суспільства передбачає використання технологій електронного обміну даними.

В зв'язку зі збільшенням обсягів інформації, яку доводиться оброблювати, виникає необхідність впровадження систем електронного документообігу (СЕД). Використання електронних документів (ЕД) отримало широке розповсюдження в таких сферах людської діяльності, як освіта, медицина, державних органах управління та інших структурах. Разом з розвитком сучасних інформаційно-технічних можливостей виникають нові ризики та загрози, що призводять до некоректного функціонування системи, зниження надійності, а також значних матеріальних втрат. Тому, використання СЕД обов'язково має супроводжуватися надійною системою захисту.

Проблемі захисту ЕД присвячені роботи Астахової Т.С., Ярочкина В.І., Панасенка С.П. та інших вчених. Проте, за умов достатньо розвинутих технологій в сфері інформаційних злочинів, ця проблема потребує ефективних шляхів її вирішення.

Постановка завдання. Аналіз науково-технічної літератури показує, що за останні роки розроблено багато методів забезпечення безпеки інформаційних ресурсів, зокрема ЕД. Вченими запропоновані різні підходи, щодо способів виявлення загроз, оцінки рівня

захищеності ЕД та засобів захисту. Проте, існує ряд невирішених раніше питань надійного функціонування СЕД. Насамперед, ці питання пов'язані з дослідженням множини загроз на кожному етапі життєвого циклу ЕД в системі, а також способів їх уникнення та нейтралізації.

Мета. Метою роботи є підвищення рівня ІБ електронних документів. Для досягнення мети досліджено особливості впровадження СЕД, проведено аналіз ЕД, їх головних властивостей, функцій. Визначено множину можливих загроз порушення ІБ документів та засобів їх нейтралізації, зокрема електронного цифрового підпису та побудовано математичну модель ІБ електронних документів.

Результати дослідження. В електронному середовищі процес обробки документованої інформації представляє собою складний організаційно-технічний процес, що супроводжується загрозами ІБ. Використання СЕД дозволяє організувати передачу даних, що дозволяє контролювати процес виконання документів.

Система електронного документообігу – інформаційна, автоматизована система, яка забезпечує безперервний процес руху ЕД, що відображає діяльність певної структури і контроль її керування. Така система дозволяє керувати документами на протязі всього їх життєвого циклу: від створення до повного видалення. СЕД дає можливість автоматизувати всі процеси обробки електронних даних, що сприяє підвищенню швидкості роботи та зниженню втрат пов'язаних з обміном інформації. Використання СЕД сприяє ефективній організації всієї управлінської структури, для якої вони призначені, а також дозволяє досягнути великого економічного ефекту [1]. Основу будь-якої СЕД складають електронні документи та процеси над ними. ЕД представляє собою аналог паперового документу, створеного на цифровому носії, включаючи обов'язкові реквізити. ЕД мають специфічні властивості та функції.

Основними функціями ЕД в СЕД є:

- 1) забезпечення ефективного керування за рахунок контролю виконання на всіх етапах життєвого циклу ЕД;
- 2) безпечний і швидкий доступ до ЕД в системі;
- 3) підтримка комунікацій, зручний обмін ЕД між організаційними структурами.

ЕД в системі проходять певну послідовність етапів, які складають їх життєвий цикл, структура якого показана на рис. 1.

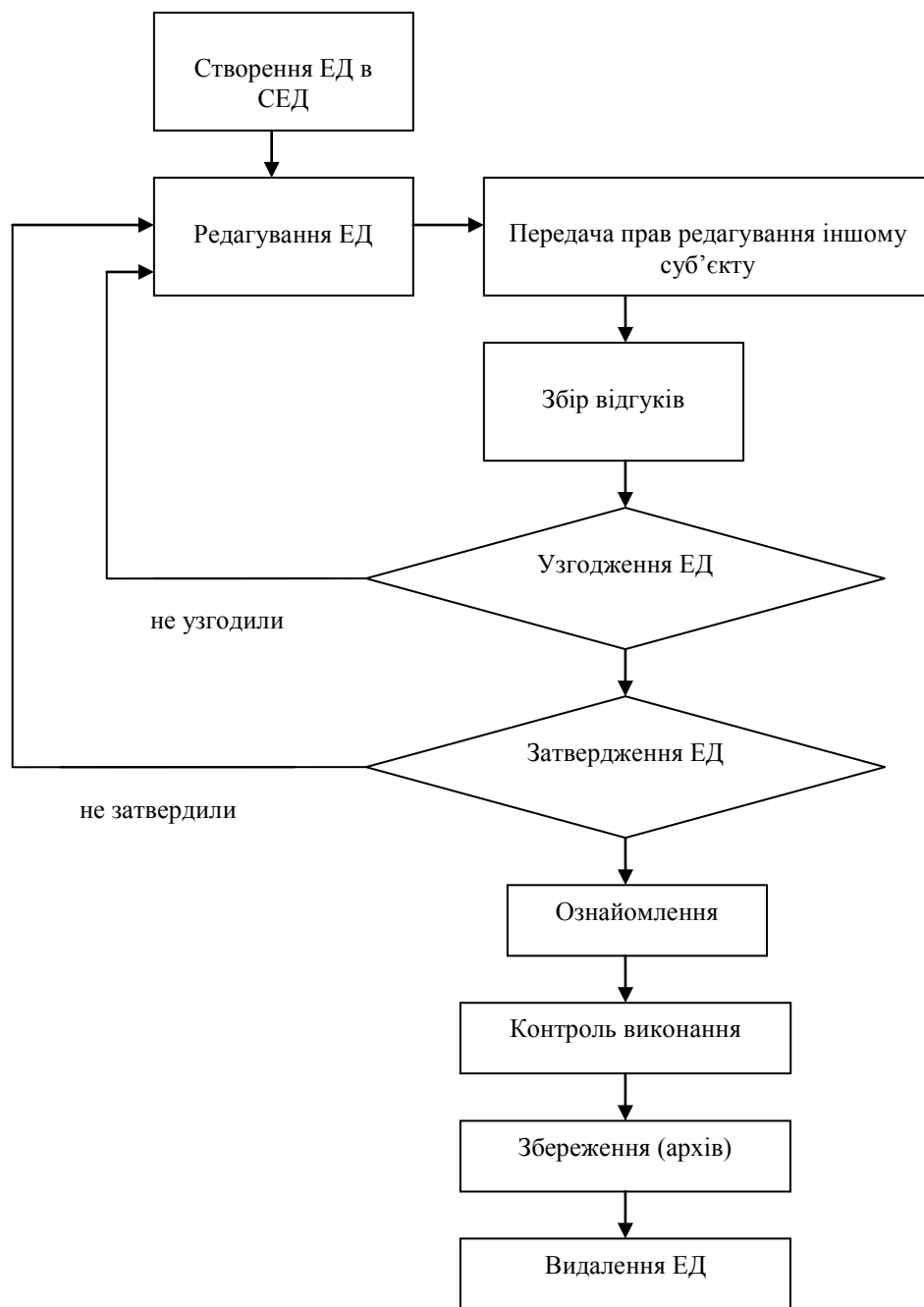


Рис.1. Структура життєвого циклу ЕД в СЕД

Аналіз життєвого циклу ЕД є важливим чинником при розробці механізмів захисту, оскільки чітке розуміння життєвого циклу ЕД в СЕД дозволяє виявити можливі загрози безпеці на кожному етапі. Для забезпечення стабільності функціонування СЕД потрібно ужити заходів захисту ЕД при його створенні, передачі, обробці, збереженні, виконанні, а також за умов впливу зовнішніх чинників.

Характерними властивостями ЕД є конфіденційність, цілісність та достовірність. Цілісність ЕД гарантує незмінність, достовірність, повноту інформації, що містять ЕД, тобто така їх властивість, яка гарантує чітко визначену структуру ЕД [2]. Порушення цілісності –

це загрози, при реалізації яких інформація втрачає значимість, юридичну силу. Порушення цілісності інформації може мати випадковий і навмисний характер [3]. Порушення конфіденційності виникає внаслідок отримання несанкціонованого доступу (НсД) до даних. НсД можна отримати шляхом перехоплення інформації, зміни маршрутів руху ЕД та іншими способами шахрайства. Загрози порушення конфіденційності спрямовані на розголошення конфіденційної чи секретної інформації. В разі реалізації цих загроз інформація стає відомою для суб'єктів, які не мають до неї доступу. Доступність характеризує можливість несанкціонованого доступу до документів, що зберігаються в СЕД в будь-який момент часу [4].

Для забезпечення високого рівня безпеки ЕД, надійного функціонування СЕД необхідно створити умови захисту системи від існуючих загроз. Система захисту ЕД – комплекс програмно-технічних засобів, спрямованих на виявлення і усунення можливих загроз ІБ. Для створення системи захисту необхідно деталізувати множину можливих загроз, провести аналіз вразливостей СЕД, ризику здійснення загроз і можливих збитків, що можуть виникнути у разі порушення безпеки. Одним з таких порушень є несанкціонований доступ до ЕД, отримання суб'єктом прав доступу, на які він не має дозволу. Порушення ІБ – сукупність умов і факторів (явищ, подій, процесів), що компрометують один чи декілька аспектів ІБ. Загрози становлять потенційну небезпеку, що призводить до непередбачуваних фактів таких, як витік, модифікація та знищення інформації.

Основу гарантування інформаційної безпеки в інформаційно-телекомунікаційних системах становлять криптографічні методи та засоби захисту інформації. Беручи до уваги те, що швидкісні криптографічні перетворення даних є найефективнішим засобом забезпечення таких характеристик безпеки інформаційних ресурсів, як конфіденційність і цілісність, то, безумовно, перспективним напрямком досліджень є розробка методів підвищення продуктивності криптографічних систем.

Особливе місце в електронному документообігу займає задача ідентифікації користувачів, вирішити яку покликаний електронний цифровий підпис (ЕЦП) – найбільш зручний сучасний інструмент для здійснення угод у віддаленому режимі та обміну юридично значимої документацією. ЕЦП гарантує достовірність, забезпечує цілісність, дозволяє створювати корпоративну систему обміну електронними документами. Так само однією з переваг підпису є можливість удосконалити контроль за обігом, використанням та зберіганням електронної документації на підприємстві. Правовий статус ЕД забезпечується використанням ЕЦП, який ідентифікує автора підписаного документа. Закон України «Про електронний цифровий підпис» регулює відносини, що виникають в процесі використання ЕЦП [5]. Оскільки ЕД можуть бути достатньо великими, то часто ЕЦП накладається не на сам документ, а на його хеш. Хеш обчислюють за допомогою криптографічних хеш-функцій, що гарантує виявлення змін в документі при перевірці підпису. Технологія використання ЕЦП передбачає електронний обмін даними між абонентами мережі. Для відправника і отримувача генерується пара ключів: відкритий і закритий. Закритий ключ зберігається у відправника в таємниці і використовується ним з метою формування ЕЦП. Відкритий ключ відомий отримувачеві і призначений для перевірки ЕЦП підписаного ЕД. Система ЕЦП включає процедуру формування підпису та його перевірку.

Процедура формування ЕЦП використовує закритий ключ відправника, а процес перевірки підпису – відкритий ключ відправника. Спочатку відправник генерує пару ключів і повідомляє відкритий ключ отримувачеві для подальшої перевірки підпису. Потім відправник обчислює значення хеш-функції електронного документу [6]. Алгоритм формування ЕЦП показаний на рис. 2.

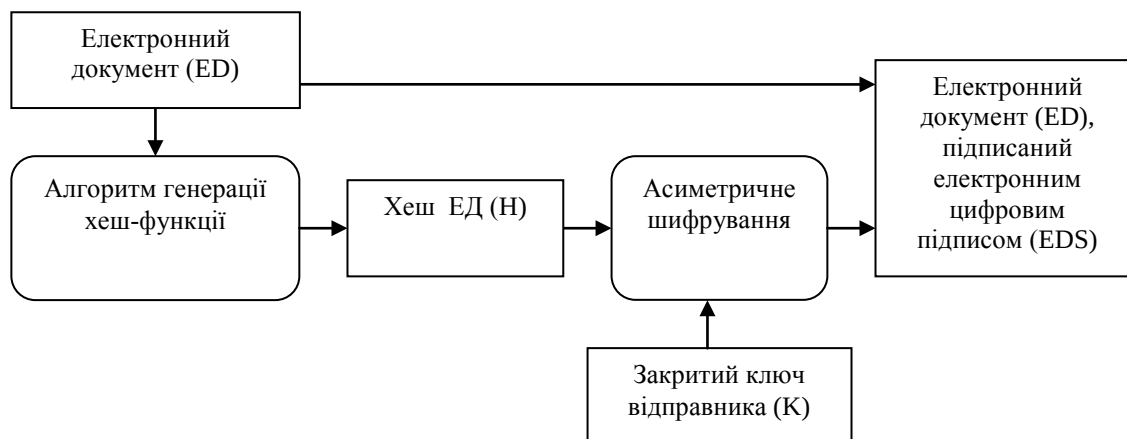


Рис. 2. Алгоритм формування ЕЦП

Хеш-функція служить для обчислення хешу ЕД (H) – фіксована кількість бітів, що характеризує повністю документ. Відправник шифрує хеш за допомогою свого секретного ключа, отримана в результаті пара чисел представляє собою ЕЦП даного ЕД. Потім підписаний ЕД надходить до отримувача. Використання хеш-функцій дозволяє формувати криптостійкі контрольні суми ЕД [7].

При перевірці ЕЦП отримувач ЕД розшифровує прийнятий хеш (H) відкритим ключем відправника. Крім того, отримувач самостійно за допомогою хеш-функції (H) обчислює хеш (h) отриманого ЕД і порівнює його з розшифрованим [8]. Якщо (H) і (h) співпадають, то ЕЦП – вірний. В іншому випадку – ЕЦП фальсифікований, або змінено вміст ЕД. Співпадання (H) і (h) є критерієм цілісності ЕД і підтвердженням його авторства. Алгоритм перевірки ЕЦП показаний на рис. 3.

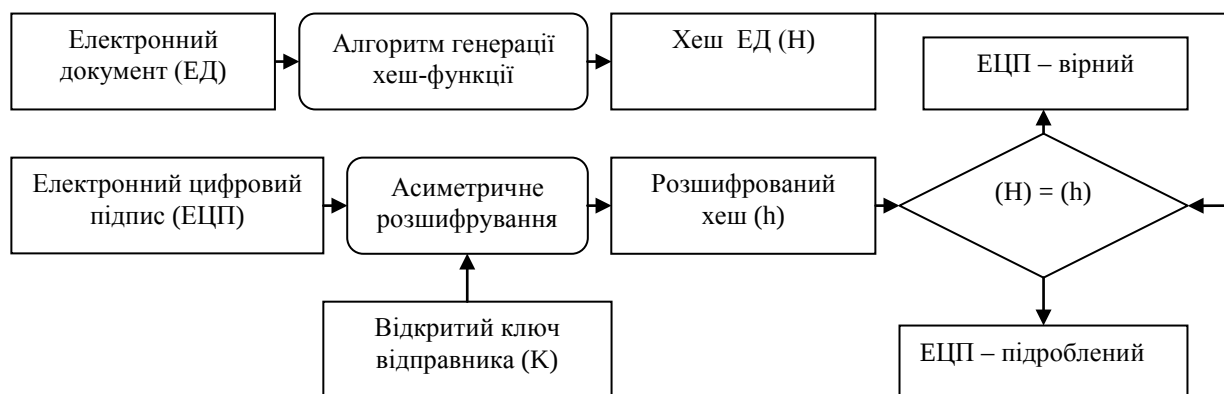


Рис. 3. Алгоритм перевірки ЕЦП

Враховуючи основні властивості електронних документів, математичну модель інформаційної безпеки ЕД можна представити в вигляді задачі (1).

$$\sum_i^n f(C_i, K_i, D_i) \rightarrow \max \quad (1)$$

де $f(C_i, K_i, D_i)$ – значення функції ІБ для i -ї загрози безпеці, n – кількість загроз безпеці ЕД, C_i, K_i, D_i – ймовірності порушення цілісності, конфіденційності та достовірності ЕД для i -ї загрози. Дані про ймовірність порушення можна отримати на основі експертних оцінок.

Таким чином, захищена СЕД має передбачувати реалізацію, як мінімум таких механізмів захисту: забезпечення цілісності, безпечного доступу, конфіденційності та достовірності документів.

Висновки. В висновку зазначимо, що активне використання технологій електронного обміну суттєво підвищило вразливість інформації, що циркулює в сучасних інформаційних системах. Описані в статті принципи впровадження СЕД демонструють необхідність створення надійної системи безпеки і захисту ЕД. Побудована структура життєвого циклу ЕД в системі дозволяє виявити можливі загрози ІБ на всіх етапах – починаючи від створення документу до остаточного його видалення. Досліджено механізми формування та перевірки головного реквізиту електронного документа – ЕЦП. На основі дослідження властивостей та загроз ЕД запропоновано математичну модель інформаційної безпеки ЕД. Відповідно до отриманих результатів, визначено засоби нейтралізації загроз та сформульовано вимоги щодо забезпечення захисту ЕД.

Список використаних джерел

1. Астахова Л.В., Лужнов В.С. Проблемы организации защищенного документооборота с использованием электронной подписи на предприятиях малого бизнеса// Вестник ЮФУ. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – Выпуск №3 (13). –2013. –72– 79 с.
2. Алферов А. П., Зубов А. Ю., Кузьмин А. С., Черемушкин А. В. Основы криптографии. – «Гелиос АРВ». – 2002. – 480 с.
3. Линник О.В. Виявлення підробки електронного цифрового підпису для встановлення змін у документі// Юридичний науковий електронний журнал. Випуск № 2. – 2015. – 209– 211 с.
4. Досмухамедов Б.Р. Анализ угроз информации систем электронного документооборота// Вестник АГТУ. Компьютерное обеспечение и вычислительная техника. Серия: управление, вычислительная техника и информатика. Выпуск №2. –2009. – 140– 143 с.
5. Закон України «Про електронний цифровий підпис»// Відомості Верховної Ради України (ВВР) №36. – 2003. – 18 с.
6. Королев И.Д. Анализ безопасности информации при применении модели отнесения документов автоматизированной системы к информационным областям ответственности исполнителей// Политематический сетевой электронный научный журнал КГАУ. Автоматика. Вычислительная техника. № 93. – 2013. – 1–11 с.
7. Бельфер Р.А., Калюжный Д.А., Тарасова Д.В. Анализ зависимости уровня риска информационной безопасности сетей святы от экспертных данных при расчетах с

использованием модели нечетких множеств// Вопросы кибербезопасности. Кибернетика. – Выпуск №2(3). – 2014. – 33– 39 с.

8. Black J., Rogaway P., Shrimpton T. Black-box analysis of the block-cipher-based hash-function constructions from PGV. Advances in Cryptology, CRYPTO'02, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2002.

References

1. Astakhova L.V. and Luzhnov V.S. (2013), “Problems of organization of protected electronic document circulation using electronic digital signature at the small businesses enterprises”, Bulletin of SFU. Computer technology, management, electronics, no. 3, 72– 79 p. [in Russian]

2. Alferov A.P., Zubov A.U., Kuzmin A.S. and Cheremushkin A.V. (2002), “Principles of cryptography”, 480 p. [in Russian]

3. Linnik O.V. (2015) “Identifying fake electronic digital signature to establish changes in the document”, Law Journal, no. 2, 209– 211 p. [in Ukrainian]

4. Dosmukhamedov B.R. (2009), “The analysis of threats of the information of systems of electronic document circulation”, no. 2, 140– 143 p. [in Russian]

5. The Law of Ukraine (2003), “On electronic digital signature”, Supreme Council of Ukraine, no. 36, 18 p. [in Ukrainian]

6. Korolev I.D. (2013), “The safety information analysis in applying of documental reference model of the automated system in the informational areas of the actor's liability”, Multidisciplinary network electronic scientific journal of the KSAU. Automation. Computer Engineering, no. 93, 1– 11 p. [in Russian]

7. Belfer R.A., Kaluzshnyi D.A. and Tarasova D.V. (2014), “Analysis of dependence of risk level of safety of communication networks of expert data during calculations with the use of a model of the illegible sets”, Questions cyber security. Cybernetics, no. 2, 31– 39 p. [in Russian]

8. Black J., Rogaway P. and Shrimpton T. (2002) Black-box analysis of the block-cipher-based hash-function constructions from PGV. Advances in Cryptology, CRYPTO'02, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag. [in English]

Рекомендовано до публікації д.т.н, проф. Рудницьким В. М.

ВЫЯВЛЕНИЕ И НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

РОЗЛОМІЙ І. А.

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Цель. Повышение уровня информационной безопасности (ИБ) электронных документов (ЭД).

Методика. В статье рассмотрены особенности внедрения систем электронного документооборота (СЭД). Проведен анализ ЭД, их основных свойств и функций. Рассмотрен стандартный набор угроз с целью построения математической модели ИБ и возможных средств и механизмов защиты ЭД.

Результаты. Исследованы основные свойства ЭД такие, как конфиденциальность, целостность и достоверность. Сформирован перечень функций ЭД. Показана схема жизненного цикла ЭД, которая позволяет формализовать множество угроз на каждом этапе. Рассмотрен принцип использования главного реквизита ЭД, электронной цифровой подписи (ЭЦП). Построены схемы создания и проверки ЭЦП на основе использования хэш-функций.

Научная новизна. На основе исследования свойств ЭД предложена математическая модель информационной безопасности ЭД.

Практическая значимость. Согласно полученным результатам, определены средства нейтрализации угроз и сформулированы требования по обеспечению защиты ЭД.

Ключевые слова: электронный документ, жизненный цикл, информационная безопасность, цифровая подпись, хэш-функция, идентификация, аутентификация.

DETECTION AND NEUTRALIZATION OF THREATS TO THE SECURITY OF ELECTRONIC DOCUMENTS BY ANALYZING THEIR LIFE CYCLE

ROZLOMII I. A.

Cherkassy Bogdan Khmelnytskyi National University

Purpose. Increased information security of electronic documents.

Methodology. The aspects of deployment and functioning of the Document Management System (DMS) were considered in article. The main properties and functions of electronic document has been analyzed. A standard set of threats has been considered for creating mathematical model information security and possible tools of electronic protection.

Findings. The main properties of electronic documents, such as confidentiality, integrity, certainty were researched. The list of functions of electronic documents was created. The scheme lifecycle of electronic document has been shown which allows formalized set of threats at each stage. The principle of using of the main props of electronic documents, such as electronic digital signature has been considered. The schemes of creation and verification electronic digital signature based on the using hash-functions has been constructed.

Originality. The mathematical model of information security of electronic documents was offered based on the researching properties of electronic documents.

Practical value. According to the achieved results, identified means of neutralization of threats and formulated requirements of electronic documents protection.

Keywords: *electronic document, lifecycle, information security, digital signature, hash function, identification, authentication.*

УДК 677.055

ЧАБАН В.В., ПІПА Б.Ф., ЧАБАН О.В.
Київський національний університет технологій та дизайну

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДА В'ЯЗАЛЬНОЇ КАРЕТКИ РУКАВИЧНОГО АВТОМАТА

Мета. Удосконалення привода в'язальної каретки рукавичного автомата для забезпечення підвищення продуктивності його роботи та якості виробів.

Методика. Використані сучасні методи теорій синтезу, кінематики та динаміки механізмів з метою розробки привода рукавичного автомата, здатного підвищити продуктивність його роботи та якість виробів.

Результати. На основі аналізу кривошипно-повзунних приводів в'язальних кареток рукавичних автоматів запропоновано нову конструкцію привода з зубчастою передачею з некруглими колесами. Обладнання привода рукавичного автомата такою зубчастою передачею здатне замінити синусоїдальну форму закону зміни швидкості руху в'язальної каретки раціональним - трапецієподібним законом зміни її швидкості, що забезпечує ріст продуктивності рукавичного автомата та підвищення якості вироблюваних виробів. Запропоновано метод побудови профілів центроїд некруглих зубчастих коліс для реалізації трапецієподібного закону зміни швидкості в'язальної каретки. Аналіз досліджень показує, що одержані результати можуть бути використані при удосконаленні діючих та розробці нових типів приводів в'язальних кареток як рукавичних автоматів, так і плосков'язальних машин.

Наукова новизна. Розробка методу вибору раціональних параметрів привода рукавичного автомата з зубчастою передачею з некруглими зубчастими колесами.

Практична значимість. Розробка нової конструкції привода рукавичного автомату здатної замінити синусоїдальну форму закону зміни швидкості руху в'язальної каретки більш ефективним трапецієподібним законом.

Ключові слова: рукавичний автомат, в'язальна каретка рукавичного автомату, зубчаста передача з некруглими колесами, кривошипно-повзунний привід.

Вступ. Перспективним напрямком підвищення ефективності роботи рукавичних автоматів є підвищення продуктивності та якості виробів [1-3]. Дослідження [4] показують, що існуючим кривошипно-повзунним приводам в'язальних кареток рукавичних автоматів властива синусоїдальна форма закону зміни швидкості руху каретки, що негативно позначається на продуктивності автоматів та на рівномірності петельної структури вироблюваного трикотажу і, отже, на якості виробів. Тому проблема удосконалення привода в'язальної каретки рукавичних автоматів є актуальною та своєчасною. Виходячи з цього, при проектуванні вказаного обладнання в першу чергу слід приділяти увагу вибору раціонального закону руху в'язальної каретки. Вирішення цієї проблеми без удосконалення конструкції приводів рукавичних автоматів неможливе.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи рукавичних автоматів, завданням досліджень є розробка нової конструкції привода в'язальної каретки рукавичного автомату з можливістю реалізації більш ефективного закону руху в'язальної каретки та інженерного методу вибору раціональних параметрів такого привода.

Результати дослідження. Існуючі приводи в'язальних кареток рукавичних автоматів, що містять зубчасту передачу та кривошипно-повзунний механізм [5], дозволяють одержувати швидкість руху каретки більш високу в порівнянні з ланцюговими та пасовими

[1, 2]. Однак, кривошипно-повзунним приводам властива синусоїдальна форма закону зміни швидкості руху каретки. Максимальна лінійна швидкість каретки, що відповідає екстремуму синусоїди (досягається в середині ходу каретки) та значні максимальні навантаження, що діють на перероблювані нитки та в петлетвірних органах, обмежує підвищення продуктивності рукавичного автомата. Крім того, циклічна мінливість швидкості руху в'язальної каретки на ділянках робочого ходу негативно позначається на рівномірності петельної структури вироблюваного трикотажу і, отже, на якості виробів.

Автори [5] пропонують принципово новий привід в'язальної каретки рукавичного автомата, у якому нова форма профілів зубчастих коліс зубчастої передачі забезпечує раціональний - трапецієподібний закон зміни швидкості руху в'язальної каретки і, таким чином, ріст продуктивності автомата та підвищення якості виробів.

В запропонованому приводі в'язальної каретки рукавичного автомата зубчаста передача виконана у вигляді зубчастих коліс некруглої форми, що мають однакові довжини початкових центрів і передаточне число i , що змінюється за цикл обертання від i_{min} до i_{max} [5]:

$$i_{min} = \frac{1}{2} \left[\pi - \frac{\lambda}{\lambda + 1} \right] \cdot \left[\sin \frac{\lambda}{\lambda + 1} + \frac{1}{2\lambda} \sin \frac{2\lambda}{\lambda + 1} \right]; \quad i_{max} = \frac{1}{2} \left[\pi - \frac{\lambda}{\lambda + 1} \right], \quad (1)$$

де $\lambda = \frac{L}{r}$; L - довжина шатуна; r - радіус кривошипа.

Таке технічне рішення - введення в кривошипно-повзунний привід пари некруглих зубчастих коліс, дозволяє перетворити синусоїдальний закон зміни швидкості руху каретки в раціональний - трапецієдальний, з постійною максимальною лінійною швидкістю циклу на ділянках робочого ходу. Це, у свою чергу, забезпечує збільшення середньої швидкості циклу і пропорційно продуктивності, у порівнянні з приводом, що забезпечує синусоїдальний закон руху каретки. Крім того, сталість швидкості руху каретки на ділянках петлетворення позитивно позначається на рівномірності петельної структури вироблюваного трикотажу і, отже, якості виробів. На рис. 1 представлена кінематична схема запропонованого приводу в'язальної каретки рукавичного автомата [5]. На рис. 2 показані діаграми залежностей лінійних швидкостей V_C при синусоїдальному та трапецієдальному V_T законах руху каретки від кута φ повороту кривошипа.

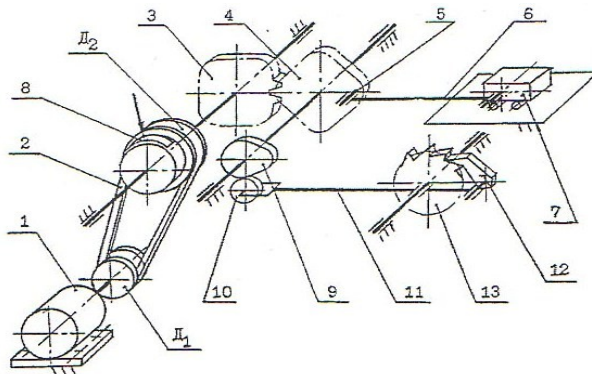


Рис. 1. Кінематична схема приводу в'язальної каретки рукавичного автомата: 1 – електродвигун; 2 – пасова передача; 3, 4 – зубчасті колеса; 5 – палець кривошипа; 6 – шатун; 7 – в'язальна каретка; 8 – гальмо; 9 – ексцентрик; 10 – ролик; 11 – важіль; 12 – собачка; 13 – храповик

Привід працює таким чином: рух від електродвигуна 1 передається ведучому шківу D_1 пасової передачі 2, ведений шків D_2 якої з'єднаний з некруглим ведучим зубчастим колесом 3. Ведене зубчасте колесо 4, що знаходиться в зачепленні із ведучим зубчастим колесом 3, через палець 5 та шатун 6 передає зворотно-поступальний рух в'язальній каретці 7. Для зупинки машини служить гальмо 8. Розташований на одному валу з веденим зубчастим колесом 4 ексцентрик 9, через ролик 10, важіль 11 і собачку 12, створює переривчастий обертний рух храповику 13.

Для проектування профілів центроїд некруглих зубчастих коліс необхідно враховувати залежність їх передатного відношення i від кута φ повороту колеса 3:

$$i(\varphi) = \frac{r_2}{r_1} = \frac{V_C}{V_T}, \quad (2)$$

де r_1, r_2 - радіуси профілів центроїд відповідно ведучого і веденого зубчастих коліс.

Швидкість V_C і прискорення a_C каретки при синусоїдальному законі руху визначаються залежностями [6]:

$$V_C = r \omega \left[\sin \varphi + \frac{1}{2\lambda} \sin 2\varphi \right]; \quad (3)$$

$$a_C = r \omega^2 \left[\cos \varphi + \frac{1}{\lambda} \cos 2\varphi \right], \quad (4)$$

де ω - частота обертання ведучого зубчастого колеса.

Швидкість в'язальної каретки V_T (рис. 2), як видно з діаграми (з огляду на симетрію напівциклів законів руху будемо розглядати ділянку $\varphi \in [0; \pi]$), має наступну залежність:

$$V_T = \frac{V_{T \max}}{\varphi_1} \cdot \varphi, \quad \text{при } \varphi \in [0; \varphi_1]; \quad (5)$$

$$V_T = V_{T \max}, \quad \text{при } \varphi \in [\varphi_1; \varphi_2]; \quad (6)$$

$$V_T = \frac{V_{T \max}}{\pi - \varphi_2} \cdot (\pi - \varphi), \quad \text{при } \varphi \in [\varphi_2; \pi], \quad (7)$$

де $V_{T \max}$ - максимальна швидкість каретки при трапецеїдальному законі руху, що відповідає ділянкам робочого ходу;

φ_1, φ_2 - кути повороту ведучого зубчастого колеса, що відповідають характерним точкам діаграми $V_T(\varphi)$.

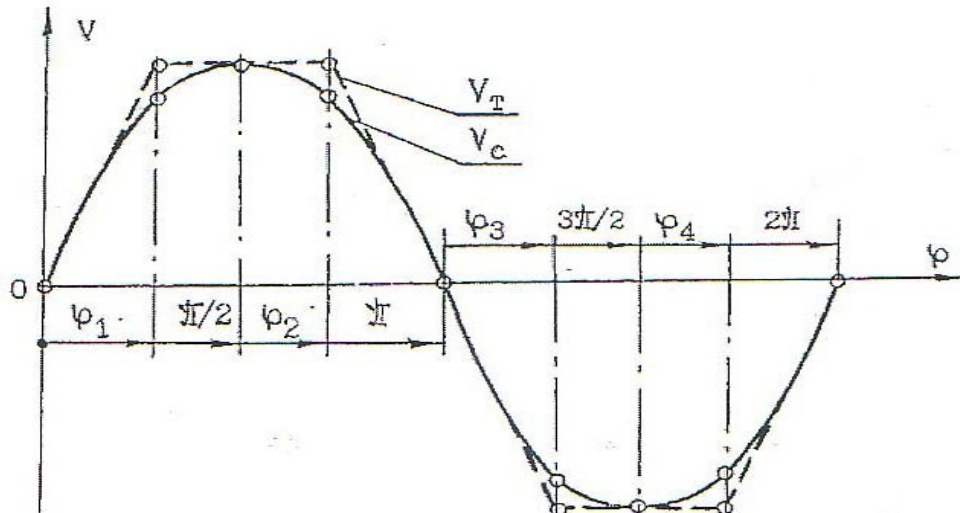


Рис. 2. Діаграми залежностей лінійних швидкостей V_C , V_T від кута φ повороту кривошипа

Характерні кути φ_1 , φ_2 зв'язані між собою залежністю:

$$\varphi_1 = \pi - \varphi_2. \quad (8)$$

Для визначення кута φ_1 слід врахувати, що:

$$\varphi_1 = \omega t_1 = \omega \frac{V_{Cmax}}{a_{rmax}}, \quad (9)$$

де t_1 - час у циклі руху каретки, що відповідає характерному куту φ_1 ;

V_{Cmax} - максимальна швидкість каретки при синусоїдальному законі руху;

a_{Tmax} - максимальне прискорення каретки, що відповідає ділянці розгону, при трапецеїдальному законі руху.

Прийmemo:

$$a_{Tmax} = a_{Cmax} = a_T([0; \varphi_1]) = |a_T([\varphi_2; \pi])|. \quad (10)$$

Тоді можемо знайти:

$$a_{Cmax} = a_C(\varphi = 0) = r\omega^2 \left[\cos 0 + \frac{1}{\lambda} \cos 0 \right] = r\omega^2 \left(\frac{\lambda + 1}{\lambda} \right); \quad (11)$$

$$V_{Cmax} = V_C\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) = r\omega \left[\sin \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \sin \pi \right] = r\omega. \quad (12)$$

Для кута φ_1 одержуємо:

$$\varphi_1 = \omega \frac{r\omega}{r\omega^2 \left(\frac{\lambda + 1}{\lambda} \right)} = \frac{\lambda}{\lambda + 1}. \quad (13)$$

Прийнявши $\omega = const$ й ділянки ходу каретки рівними при синусоїдальному і трапецеїдальному законах руху, а також враховуючи, що $V = dS / dt$, $dt = d\varphi / \omega$, де S - переміщення в'язальної каретки, маємо:

$$S = \int_0^{\pi} \frac{V_C}{\omega} d\varphi = \int_0^{\pi} \frac{V_T}{\omega} d\varphi; \quad (14)$$

$$\int_0^{\pi} \frac{V_C}{\omega} d\varphi = \frac{r\omega}{\omega} \left[-\cos \varphi + \frac{1}{4\lambda} (-\cos 2\varphi) \right]_0^{\pi} = 2r;$$

$$\int_0^{\pi} \frac{V_T}{\omega} d\varphi = \int_0^{\varphi_1} \frac{V_{T \max}}{\omega \varphi_1} \varphi d\varphi + \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{V_{T \max}}{\omega} d\varphi + \int_{\varphi_2}^{\pi} \frac{V_{T \max}}{\omega(\pi - \varphi_2)} (\pi - \varphi) d\varphi = \frac{V_{T \max}}{\omega} \left(\pi - \frac{\lambda}{\lambda + 1} \right). \quad (15)$$

Тоді:

$$2r = \frac{V_{T \max}}{\omega} \left(\pi - \frac{\lambda}{\lambda + 1} \right) \Rightarrow V_{T \max} = \frac{2r\omega}{\left(\pi - \frac{\lambda}{\lambda + 1} \right)}. \quad (16)$$

Мінімальне значення передаточного числа $i_{\min}$ одержуємо при кутах повороту ведучого зубчастого колеса, що відповідають характерним кутам φ_1 і φ_2 :

$$i_{\min} = \frac{V_C(\varphi_1)}{V_T(\varphi_1)} = \frac{r\omega \left[\sin \frac{\lambda}{\lambda + 1} + \frac{1}{2\lambda} \sin \frac{2\lambda}{\lambda + 1} \right]}{2r\omega \left(\pi - \frac{\lambda}{\lambda + 1} \right)^{-1}} = \frac{1}{2} \left[\pi - \frac{\lambda}{\lambda + 1} \right] \cdot \left[\sin \frac{\lambda}{\lambda + 1} + \frac{1}{2\lambda} \sin \frac{2\lambda}{\lambda + 1} \right]. \quad (17)$$

Максимальне значення передатного відношення $i_{\max}$ одержуємо при кутах повороту ведучого зубчастого колеса $\varphi = \frac{\pi n}{2}$, де $n \in N$:

$$i_{\max} = \frac{V_C\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right)}{V_T\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right)} = \frac{r\omega \left[\sin \frac{\pi}{2} + \frac{1}{2\lambda} \sin \pi \right]}{2r\omega \left(\pi - \frac{\lambda}{\lambda + 1} \right)} = \frac{1}{2} \left[\pi - \frac{\lambda}{\lambda + 1} \right]. \quad (18)$$

Задавшись міжосьовою відстанню $L = r_1 + r_2$ та використовуючи отримані залежності будуюмо профілі центрів некруглих зубчастих коліс (рис. 3).

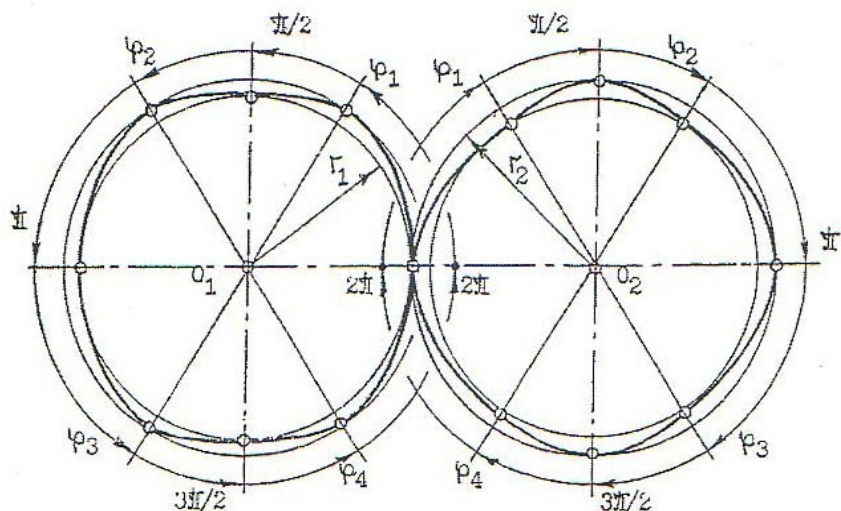


Рис. 3. Приклад побудови профілів центрів некруглих зубчастих коліс

Висновки. Виконані дослідження показують наступне:

- специфіка існуючих кривошипно-повзунних приводів в'язальних кареток рукавичних автоматів обмежує можливості підвищення продуктивності роботи автоматів та якості виробів;
- запропонований привід в'язальної каретки рукавичного автомата з зубчастою передачею з некруглими колесами здатен удосконалити закон руху каретки – замінивши існуючий синусоїдальний закон руху на більш ефективний трапецеїдальний, що забезпечує підвищення продуктивності рукавичного автомата та якості виробів;
- одержані результати можуть бути використані при удосконаленні діючих та розробці нових типів приводів в'язальних кареток як рукавичних автоматів, так і плосков'язальних машин.

Список використаної літератури

1. Чабан В.В., Піпа Б.Ф., Чабан О.В. Динамічні навантаження в рукавичному автоматі, зумовлені зворотно-поступальним рухом кареток, та їх зниження //Праці Одеського політехнічного університету, вип. 2 (44), 2014, с. 71-74.
2. Піпа Б.Ф., Чабан О.В., Музичишин С.В. Зниження динамічних навантажень приводу рукавичного автомата //Вісник КНУТД. -2015. - № 3 (86). – С. 35-42.
3. Чабан О.В. Піпа Б.Ф. Привід рукавичного автомата з можливістю відключення в'язальної каретки від тягового ланцюга //Вісник КНУТД. -2015. - № 5 (90). – С. 153-159.
4. Хомяк О.М. Динаміка плосков'язальних машин та автоматів. – К: КНУТД, 2008. – 250 с.
5. Піпа Б.Ф., Чабан О.В., Музичишин С.В. Приводи в'язальних машин і автоматів з пристроями зниження динамічних навантажень (наукові основи та інженерні методи проектування). – К: КНУТД, 2015. – 280 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Місячем В.П.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИВОДА ВЯЗАЛЬНОЙ КАРЕТКИ ПЕРЧАТОЧНОГО АВТОМАТА

ЧАБАН В.В., ПИПА Б.Ф., ЧАБАН А.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Совершенствование привода вязальной каретки перчаточного автомата для обеспечения повышения производительности его работы и качества изделий.

Методика. Используются современные методы теорий синтеза, кинематики и динамики механизмов с целью разработки привода перчаточного автомата, способного повысить производительность его работы и качество изделий.

Результаты. На основе анализа кривошипно-ползунных приводов вязальных кареток перчаточных автоматов предложена новая конструкция привода с зубчатой передачей с некруглыми колесами. Оснащение привода перчаточного автомата такой зубчатой передачей способно заменить синусоидальную форму закона изменения скорости движения вязальной каретки рациональным - трапецевидным законом изменения ее скорости, обеспечивающим рост производительности перчаточного автомата и повышение качества производимых изделий. Предложен метод построения профилей центроид некруглых зубчатых колес для реализации трапецевидной закона изменения скорости вязальной каретки. Анализ

исследований показує, що отримані результати можуть бути використані при удосконаленні діючих і розробці нових типів приводів вязальних кареток як перчаточних автоматів, так і плосковязальних машин.

Научная новизна. Розробка методу вибору раціональних параметрів приводу перчаточного автомата з зубчатою передачею з некруглими зубчастими колесами.

Практическая значимость. Розробка нової конструкції приводу перчаточного автомата спроможного замінити синусоїдальну форму закону змінення швидкості руху вязальної каретки більш ефективним трапецієвидним законом.

Ключевые слова: перчаточный автомат, вязальная каретка перчаточного автомата, зубчатая передача с некруглыми колесами, кривошипно-ползунный привод.

IMPROVEMENTS RESULTED KNITTING CARRIAGE GLOVE MACHINE

CHABAN V.V., PIPA B.F., CHABAN A.V.

Kiev national university of technology and design

The Aim. Perfection drive carriage glove knitting machine for improved performance of its work and the quality of products.

Methods. To use modern methods of synthesis of theories, kinematics and dynamics of mechanisms to drive the development of the glove machine capable of enhancing the performance of its work and the quality of products.

The Results. Based on analysis of slider-crank drive carriages glove knitting machines offered a new design drive gear with non-circular wheels. Equipment Drive glove machine a gear capable of replacing sinusoidal law changes the speed of the knitting carriage rational - trapezoidal law changing its speed, providing increased productivity glove machine and improving the quality of manufactured products. A method of constructing profiles of non-circular gears centroid for the implementation of the law changes the speed of trapezoidal knitting carriage. Analysis of studies shows that the results obtained may be used for the improvement of existing and development of new types of drive carriages like glove knitting machines and flat knitting machines.

Scientific novelty. Development of a method of choice of rational parameters of gloves and mittens drive machine with gears of noncircular gears.

The practical significance. Development of a new design of the drive machine capable of replacing the glove sinusoidal law changes the speed of the knitting carriage more efficient trapezoidal law.

Keywords: glove machine knitting glove machine carriage, gears with non-circular wheel, slider-crank drive.

УДК 69.04(075.8)

КРУТИЙ Ю.С., СУРЬЯНИНОВ Н.Г.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

**ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
УРАВНЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАВНОВЕСИЯ
УПРУГОГО СТЕРЖНЯ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ
НЕПРЕРЫВНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ**

Цель. Развитие метода прямого интегрирования для задач механики деформируемого твердого тела, которые описываются дифференциальными уравнениями с переменными коэффициентами.

Методика. Применение метода прямого интегрирования для построения аналитических решений дифференциальных уравнений устойчивости упругого стержня с произвольной непрерывной переменной жесткостью.

Результаты. Наличие такого решения может послужить основой для разработки нового метода исследований по проблеме устойчивости.

Научная новизна. В общем случае непрерывной переменной поперечной жесткости приходим к аналитическому представлению для продольной силы, содержащему безразмерный параметр K , названный нами коэффициентом устойчивости, вследствие чего задача отыскания критической силы для стержня с непрерывной жесткостью сводится к отысканию указанного коэффициента устойчивости.

Практическая значимость. Проинтегрировано дифференциальное уравнение продольного изгиба стержня с произвольной непрерывной переменной поперечной жесткостью, сжатого постоянной осевой продольной силой. В аналитическом виде выписаны формулы для перемещений и внутренних усилий в произвольном сечении стержня. Эти формулы выражены через начальные параметры и пригодны для исследования устойчивости стержня при любых возможных граничных условиях.

Решение данной проблемы открывает перспективу создания нового метода исследования стержней на устойчивость равновесия. Для этого достаточно указать эффективный метод численной реализации найденных здесь точных решений.

Ключевые слова: устойчивость, сжатый стержень, переменная жесткость, метод прямого интегрирования, коэффициент устойчивости, критическая сила.

Введение. Трудно переоценить роль дифференциальных уравнений в задачах строительной механики вообще и в теории устойчивости стержней в частности. Всякий раз, когда исходная задача сводится к дифференциальному уравнению, естественно попытаться найти его точное решение. Поэтому естественным и важным методом решения задач строительной механики является метод прямого интегрирования дифференциальных уравнений. Подтверждение такому тезису можно отыскать во многих изданиях. Например, в монографии академика А.Н. Динника [1] указывается, что одним из важнейших способов определения критической силы является прямое интегрирование дифференциальных уравнений равновесия. Там же отмечается, что такой метод наиболее удобный, если требуется большая точность.

Однако отсутствие в подавляющем большинстве случаев точных (аналитических) решений для дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами отодвинуло на задний план метод прямого интегрирования. Во многих монографиях по строительной

механике и смежным вопросам, перед изложением сути приближенных методов, их необходимость часто обосновывается рассуждениями о невозможности построения точных решений соответствующих дифференциальных уравнений.

Ярким примером сказанному является дифференциальное уравнение продольного изгиба, когда поперечная жесткость стержня изменяется непрерывно. Случаи построения точного решения такого уравнения составляют редкое исключение. Как отмечается в [2-4], в общем случае, при произвольном непрерывном законе изменения жесткости, данное уравнение не удастся проинтегрировать. В более современном издании [5] также констатируется, что интегрирование такого уравнения, когда жесткость не является константой, представляет собой достаточно сложную математическую задачу.

В работе [6] на примере дифференциального уравнения поперечных колебаний стержня предложен метод интегрирования, пригодный для дифференциальных уравнений с непрерывными переменными коэффициентами. На наш взгляд наличие такого метода открывает новые перспективы в решении самых разных классов задач строительной механики. Цель данной работы – с помощью указанного метода интегрирования построить аналитические решения для дифференциальных уравнений устойчивости упругого стержня с произвольной непрерывной переменной жесткостью. Наличие такого решения может послужить основой для разработки нового метода исследований по проблеме устойчивости.

Постановка задачи. Объектом исследования является упругий, вообще говоря, неоднородный прямой стержень переменного поперечного сечения длины l , сжатый осевой постоянной продольной силой N и не подверженный внешним изгибающим воздействиям. Будем рассматривать задачу устойчивости равновесия такого стержня (плоский случай). Совместим ось x с линией центров тяжести поперечных сечений стержня, а ось y расположим по направлению наименьшей жесткости поперечного сечения и будем считать, что концы стержня находятся в точках $x=0$ и $x=l$ (рис. 1). Традиционно для таких задач продольную силу N будем считать положительной, если она является сжимающей.

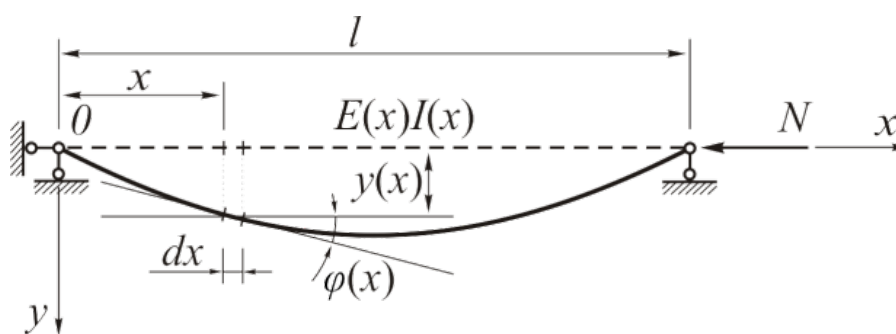


Рис. 1 Сжатый стержень переменного сечения

При утрате устойчивости стержень деформируется. Согласно концепции Эйлера для исследования устойчивости необходимо рассмотреть его равновесие в новом деформированном состоянии. Ключевую роль здесь играет дифференциальное уравнение равновесия, выражающее условие равенства момента внутренних сил внешнему моменту в каждом сечении стержня [7].

Считая прогибы малыми по сравнению с длиной стержня, и пренебрегая продольными деформациями, указанное дифференциальное уравнение равновесия стержня в искривленном состоянии (уравнение продольного изгиба) запишем в виде [8]

$$(E(x)I(x)y''(x))'' + Ny''(x) = 0, \quad (1)$$

где $E(x)I(x)$ – переменная поперечная жесткость стержня в точке x ;

$E(x)$ – модуль упругости материала стержня;

$I(x)$ – момент инерции поперечного сечения стержня;

$y(x)$ – неизвестная функция, представляющая собой поперечное перемещение (прогиб) сечения стержня в точке x .

В ситуации, когда момент инерции стержня меняется вдоль его длины, закон изменения принято представлять в виде $I(x) = I_0\psi(x)$, где I_0 – некоторый постоянный момент инерции, а $\psi(x)$ – безразмерная функция [9]. Запишем аналогичное представление и для модуля упругости, который в общем случае также считаем переменным. Пусть $E(x) = E_0\phi(x)$, где E_0 – постоянный модуль упругости, а $\phi(x)$ – безразмерная функция. Тогда переменная поперечная жесткость стержня запишется так

$$E(x)I(x) = E_0I_0A(x), \quad (2)$$

где E_0I_0 – некоторая постоянная жесткость (жесткость в какой-либо характерной точке стержня);

$A(x) = \psi(x)\phi(x)$ – безразмерная функция.

Функция $A(x)$, по сути, определяет закон изменения поперечной жесткости вдоль длины стержня и по своему смыслу является положительной. Вполне очевидно, что представление (2) никак не ограничивает общности рассматриваемой задачи и принято исключительно ради удобства. Ведь любую размерную величину всегда можно представить в виде произведения двух множителей. В таком случае размерность придется приписать только одному из этих множителей, а второй будет безразмерным.

Уравнение (1) с учетом представления (2) перепишем в виде

$$(A(x)y''(x))'' + Py''(x) = 0, \quad (3)$$

$$\text{где } P = \frac{N}{E_0I_0}.$$

В случае, когда концы стержня шарнирно оперты (рис. 1), для решения задачи устойчивости часто вместо уравнения (3) используют дифференциальное уравнение равновесия стержня в искривленном состоянии второго порядка [10]

$$A(x)y''(x) + Py(x) = 0. \quad (4)$$

Очевидно, уравнение (3) получается из уравнения (4) двукратным дифференцированием.

Для произвольной непрерывной переменной поперечной жесткости стержня *ставятся задачи*: построить точные решение дифференциальных уравнений равновесия стержня (3), (4); получить в аналитическом виде формулы для параметров состояния стержня; получить аналитическое представление для продольной силы.

Результаты исследования. Свойства интегрального выражения специального вида. В дальнейшем при построении точного решения дифференциального уравнения равновесия (4)

столкнемся с интегральными выражениями специального вида. Общим случаем будет интегральное выражение

$$I_p(x) = \frac{1}{l^p} \int_0^x A_p(x) \int_0^x A_{p-1}(x) \dots \int_0^x A_2(x) \int_0^x A_1(x) dx dx \dots dx dx. \quad (5)$$

Здесь $x \in [0, l]$, количество интегралов равно p , а функции $A_k(x)$ являются безразмерными, и принимают положительные значения ($k=1, 2, \dots, p$) ($p=1, 2, 3, \dots$). Чтобы в будущем избежать повторений и однотипных суждений, перечислим здесь необходимые свойства интеграла (5).

Лемма. Интеграл $I_p(x)$ представляет собой безразмерную функцию, для которой при любом $x \in [0, l]$ справедливо неравенство $I_p(x) \geq 0$ ($p=1, 2, 3, \dots$), причем равенство нулю достигается, только в точке $x=0$. В частности, $I_p(l) > 0$ ($p=1, 2, 3, \dots$).

Доказательство. Введем безразмерную координату $\xi = \frac{x}{l}$ и обозначим $B_k(\xi) = A_k(l\xi)$.

Далее в формуле (5) осуществим замену переменных $x = l\xi$, последовательно во всех интегралах, начиная с самого внешнего и заканчивая самым внутренним. Учитывая на каждом шаге, что $dx = l d\xi$, будем иметь

$$I_p(x) = I_p(l\xi) = \int_0^\xi B_p(\xi) \int_0^\xi B_{p-1}(\xi) \dots \int_0^\xi B_2(\xi) \int_0^\xi B_1(\xi) d\xi d\xi \dots d\xi d\xi.$$

Получили интегральное выражение, в котором каждый интеграл, начиная с самого внутреннего и заканчивая самым внешним, есть интеграл от безразмерной функции по безразмерной переменной с безразмерным верхним пределом. Следовательно, интегральное выражение $I_p(x)$ представляет собой безразмерную функцию. Что касается свойств $I_p(x)$, выраженных неравенствами, то они вытекают из положительности функций $A_k(x)$ и известных свойств определенных интегралов.

Следствие. Следующий интеграл

$$\tilde{I}_{p-1}(x) = l \frac{I'_p(x)}{A_p(x)} (p \geq 2), \quad (6)$$

будучи частным случаем представления (5), обладает теми же свойствами, что и интеграл $I_p(x)$.

Точные решения дифференциальных уравнений равновесия второго и четвертого порядка. Вначале построим точное решение дифференциального уравнения (4). Ход решения при этом изложим как можно полнее, чтобы наглядно продемонстрировать суть метода интегрирования.

Вместе с уравнением (4) будем рассматривать равносильную ему систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dY}{dx} = R(x)Y, \quad (7)$$

где $Y = \begin{pmatrix} y(x) \\ y'(x) \end{pmatrix}$, $R(x) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{P}{A(x)} & 0 \end{pmatrix}$ – вектор неизвестных и матрица коэффициентов

системы соответственно.

Пусть $\zeta_0(x), \zeta_i(x) (i=1, 2, 3, \dots)$ – некоторая бесконечная система пока неизвестных, дважды непрерывно дифференцируемых функций. Образует посредством этих функций ряды по степеням неизвестного параметра P :

$$U(x) = \zeta_0(x) - P\zeta_1(x) + P^2\zeta_2(x) - P^3\zeta_3(x) + \dots; \quad (8)$$

$$U'(x) = \zeta'_0(x) - P\zeta'_1(x) + P^2\zeta'_2(x) - P^3\zeta'_3(x) + \dots; \quad (9)$$

$$U''(x) = \zeta''_0(x) - P\zeta''_1(x) + P^2\zeta''_2(x) - P^3\zeta''_3(x) + \dots. \quad (10)$$

Относительно этих рядов пока предполагаем, что все они равномерно сходятся на отрезке $x \in [0, l]$. В таком случае будет возможна операция почленного дифференцирования и, как следствие, обозначения $U'(x), U''(x)$ для сумм рядов (9), (10) будут законными.

Неизвестные функции $\zeta_0(x), \zeta_i(x) (i=1, 2, 3, \dots)$ будем искать из условия, что $U(x)$ удовлетворяет уравнению (4), то есть

$$A(x)U''(x) + PU(x) = 0. \quad (11)$$

Подставим в условие (11) вместо $U(x), U''(x)$ их представления (8), (10) и запишем результат в виде ряда по степеням P . В итоге придем к равенству

$$A(x)\zeta''_0(x) + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i P^i (A(x)\zeta''_i(x) - \zeta_{i-1}(x)) = 0.$$

Для его удовлетворения приравняем к нулю все коэффициенты при степенях параметра P , начиная с нулевой степени:

$$\zeta''_0(x) = 0; \quad (12)$$

$$A(x)\zeta''_i(x) = \zeta_{i-1}(x) \quad (i=1, 2, 3, \dots). \quad (13)$$

Следовательно, для определения функций $\zeta_0(x), \zeta_i(x) (i=1, 2, 3, \dots)$ имеем дифференциальные уравнения.

Функция $\zeta_0(x)$ легко находится из уравнения (12). Прежде чем выразить $\zeta_i(x)$, зададим граничные условия

$$\zeta_i(0) = \zeta'_i(0) = 0 \quad (i=1, 2, 3, \dots). \quad (14)$$

После этого из уравнения (13), интегрируя дважды, получим

$$\zeta_i(x) = \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} \zeta_{i-1}(x) dx dx \quad (i=1, 2, 3, \dots). \quad (15)$$

Последняя формула является рекуррентной. Она позволяет по известной *начальной функции* $\zeta_0(x)$ последовательно определить функции $\zeta_i(x) (i=1, 2, 3, \dots)$, которые в дальнейшем будем называть *образующими*. Смысл такого названия заключается в том, что с помощью этих функций образуется исходный ряд (8).

Тем самым, каждой начальной функции $\zeta_0(x)$, удовлетворяющей уравнению (12), по формуле (15) будет соответствовать своя бесконечная система образующих функций $\zeta_i(x)$. Для таких функций равенство (11) будет удовлетворяться тождественно.

Помимо рекуррентной формулы (15), образующие функции можно представить в развернутом виде

$$\zeta_i(x) = \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} \dots \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} \zeta_0(x) dx dx dx dx \dots dx dx. \quad (16)$$

Правая часть последней формулы содержит всего $2i$ интегралов.

Покажем теперь, что ряд (8) действительно равномерно сходится, для чего построим соответствующий мажорантный ряд. С этой целью определим две неотрицательные постоянные $g = \max_{x \in [0,1]} \frac{1}{A(x)}$ и $h = \max_{x \in [0,1]} |\zeta_0(x)|$. Тогда на основании представления (16), для функций $\zeta_i(x)$ ($i=1,2,3,\dots$) будем иметь оценки

$$|\zeta_i(x)| \leq hg^i \left| \int_0^x \int_0^x \dots \int_0^x \int_0^x \int_0^x dx dx dx dx \dots dx dx \right| = hg^i \frac{x^{2i}}{(2i)!}.$$

Следовательно, для ряда, составленного из модулей, получим

$$|\zeta_0(x)| + |P\zeta_1(x)| + |P^2\zeta_2(x)| + |P^3\zeta_3(x)| + \dots \leq h \left(1 + Pg \frac{x^2}{2!} + P^2g^2 \frac{x^4}{4!} + P^3g^3 \frac{x^6}{6!} + \dots \right) = h \operatorname{ch} \sqrt{Pg} x.$$

Мажорантой здесь с точностью до множителя выступает элементарная функция $\operatorname{ch} \sqrt{Pg} x$, определяемая рядом, который равномерно сходится при любом конечном x . Поэтому ряд из модулей сходится, причем сходится равномерно. Тем самым доказано, что ряд (8) сходится абсолютно и равномерно на отрезке $[0,1]$.

Совершенно аналогично можно доказать абсолютную и равномерную сходимость ряда (9). Что же касается ряда (10), то его сходимость вытекает непосредственно из тождества (11), согласно которому он отличается от ряда (8) только множителем. Следовательно, ряды (8), (9) можно почленно дифференцировать, то есть принятые обозначения $U'(x)$ и $U''(x)$ для рядов (9) и (10) законны.

Таким образом, фактически доказана следующая теорема.

Теорема. Всякое нетривиальное решение $\zeta_0(x)$ уравнения (12) порождает по формуле (15) такую бесконечную систему образующих функций $\zeta_i(x)$ ($i=1,2,3,\dots$), что функция $U(x)$, определяемая абсолютно и равномерно сходящимся рядом (8), является решением дифференциального уравнения равновесия второго порядка (4).

Исходя из того, что $U(x)$ является решением уравнения (4), непосредственной проверкой легко убедиться в том, что вектор

$$\Psi(x) = \begin{pmatrix} U(x) \\ U'(x) \end{pmatrix} \quad (17)$$

в свою очередь удовлетворяет системе (7).

Найдем значение $\Psi(x)$ в точке $x=0$. Полагая в формулах (8), (9) переменную x равной нулю и учитывая (14), получим

$$\Psi(0) = \begin{pmatrix} \zeta_0(0) \\ \zeta'_0(0) \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Следовательно, вектор $\Psi(0)$ определяется начальной функцией и не зависит от образующих функций.

Обратимся теперь к уравнению (12). Очевидно, функции $a_{1,0}(x)=1$, $a_{2,0}(x)=x$ образуют фундаментальную систему решений этого уравнения. Каждая из этих функций может быть принята в качестве начальной $\zeta_0(x)$ и значит каждая из них, согласно теореме, порождает соответствующее решение уравнения (4).

Обозначим через $a_{n,i}(x)$ ($n=1,2$) ($i=1,2,3,\dots$) образующие функции, порожденные начальной функцией $a_{n,0}(x)$ ($n=1,2$), а через $U_n(x)$ ($n=1,2$) – решения уравнения (4). Тогда на основании (8), (15), будем иметь:

$$U_n(x) = a_{n,0}(x) - Pa_{n,1}(x) + P^2a_{n,2}(x) - P^3a_{n,3}(x) + \dots \quad (n=1,2); \quad (19)$$

$$a_{n,0}(x) = x^{n-1}, \quad a_{n,i}(x) = \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} a_{n,i-1}(x) dx dx \quad (i=1,2,3,\dots). \quad (20)$$

В соответствии с (16), образующие функции также можно записать в развернутом виде

$$a_{n,i}(x) = \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} \dots \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} a_{n,0}(x) dx dx dx \dots dx dx. \quad (21)$$

Каждое из найденных решений $U_n(x)$ ($n=1,2$) уравнения (4) порождает по формуле (17) свой вектор

$$\Psi_n(x) = \begin{pmatrix} U_n(x) \\ U'_n(x) \end{pmatrix}$$

– решение системы (7). Составим из этих векторов матрицу

$$\Lambda(x) = \begin{pmatrix} U_1(x) & U_2(x) \\ U'_1(x) & U'_2(x) \end{pmatrix}.$$

Очевидно, она также будет удовлетворять системе (7).

Найдем теперь значение $\Lambda(x)$ в точке $x=0$. Столбцы матрицы $\Lambda(0)$ вычислим по формуле (18), поочередно полагая там $\zeta_0(x) = a_{1,0}(x) = 1$ и $\zeta_0(x) = a_{2,0}(x) = x$. В результате будем иметь

$$\Lambda(0) = \begin{pmatrix} U_1(0) & U_2(0) \\ U'_1(0) & U'_2(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (22)$$

Следовательно, матрица $\Lambda(x)$ является нормированным решением системы (7). Как известно [11], такое решение системы дифференциальных уравнений определяется однозначно и называется матрицантом. Определитель матрицанта легко найти по формуле Якоби [11]

$$|\Lambda(x)| = |\Lambda(0)| \exp \left(\int_0^x \text{Sp } R(x) dx \right) = 1,$$

где $\text{Sp } R(x)$ – след матрицы $R(x)$, который в нашем случае равен нулю. Отсюда получаем важное тождество

$$U_1(x)U'_2(x) - U'_1(x)U_2(x) = 1. \quad (23)$$

Левая часть найденного тождества представляет собою вронскиан [12]

$$W(x) = |\Lambda(x)| = \begin{vmatrix} U_1(x) & U_2(x) \\ U'_1(x) & U'_2(x) \end{vmatrix}.$$

Известно [12], что из равенства нулю вронскиана вытекает линейная независимость соответствующей системы функций. Поскольку $W(x)=1$, то функции $U_1(x)$, $U_2(x)$ линейно независимы и, следовательно, образуют фундаментальную систему решений уравнения (4).

Таким образом, общее решение дифференциального уравнения равновесия второго порядка (4) имеет вид:

$$y(x) = D_1 U_1(x) + D_2 U_2(x), \quad (24)$$

где D_1, D_2 – постоянные интегрирования.

Обратимся теперь к дифференциальному уравнению (3). Непосредственной проверкой можно убедиться в том, что найденные решения $U_1(x), U_2(x)$ уравнения (4) удовлетворяют также уравнению (3). Очевидными решениями уравнения (3) также будут x и 1. В итоге имеем систему четырех решений. Для вронскиана такой системы будем иметь

$$\begin{vmatrix} U_1(x) & U_2(x) & x & 1 \\ U_1'(x) & U_2'(x) & 1 & 0 \\ U_1''(x) & U_2''(x) & 0 & 0 \\ U_1'''(x) & U_2'''(x) & 0 & 0 \end{vmatrix} = -\left(\frac{P}{A(x)}\right)^2 (U_1(x)U_2'(x) - U_1'(x)U_2(x)) = -\left(\frac{P}{A(x)}\right)^2 \neq 0.$$

Тем самым доказано, что функции $U_1(x), U_2(x), x, 1$ линейно независимы и, следовательно, образуют фундаментальную систему решений уравнения (3).

Окончательно для дифференциального уравнения равновесия четвертого порядка (3) имеем общее решение

$$y(x) = C_1 U_1(x) + C_2 U_2(x) + C_3 x + C_4, \quad (25)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 – постоянные интегрирования.

Параметры состояния стержня, выраженные через начальные параметры. Такие искомые параметры задачи устойчивости, как перемещение $y(x)$, угол поворота $\varphi(x)$, изгибающий момент $M(x)$ и поперечную силу $Q(x)$, характеризующие напряженно-деформируемое состояние стержня, коротко будем называть *параметрами состояния*. Под поперечной силой здесь понимаем силу, перпендикулярную недеформированной оси стержня (рис. 2).

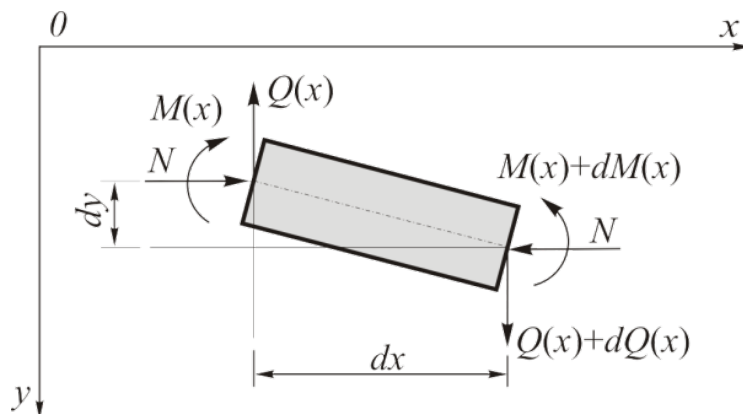


Рис. 2 Параметры состояния стержня

Как известно [4, 5], перечисленные параметры состояния связаны между собой формулами:

$$\varphi(x) = y'(x); \quad M(x) = -E_0 I_0 A(x) \varphi'(x); \quad Q(x) = M'(x) - N \varphi(x). \quad (26)$$

Исходя из решения (25) и выполняя операции, предписанные формулами (26), находим:

$$\varphi(x) = C_1 U_1'(x) + C_2 U_2'(x) + C_3; \quad (27)$$

$$M(x) = N[C_1 U_1(x) + C_2 U_2(x)]; \quad (28)$$

$$Q(x) = -NC_3. \quad (29)$$

Обратим внимание на то, что поперечная сила оказывается постоянной всюду вдоль длины стержня, что является следствием ее отсутствия на стержень.

Выразим постоянные интегрирования в формулах (25), (27) - (29) через начальные параметры $y(0), \varphi(0), M(0), Q(0)$ – перемещение, угол поворота, изгибающий момент и поперечную силу в точке $x=0$. Для этого положим $x=0$ и воспользуемся формулой (22). Получим: $y(0) = C_1 + C_4$; $\varphi(0) = C_2 + C_3$; $M(0) = NC_1$; $Q(0) = -NC_3$. Отсюда находим:

$$C_1 = \frac{M(0)}{N}; C_2 = \varphi(0) + \frac{Q(0)}{N}; C_3 = -\frac{Q(0)}{N}; C_4 = y(0) - \frac{M(0)}{N}.$$

Следовательно, для параметров состояния будем иметь:

$$y(x) = y(0) + \varphi(0)U_2(x) - \frac{M(0)}{N}(1 - U_1(x)) - \frac{Q(0)}{N}(x - U_2(x)); \quad (30)$$

$$\varphi(x) = \varphi(0)U_2'(x) + \frac{M(0)}{N}U_1'(x) - \frac{Q(0)}{N}(1 - U_2'(x)); \quad (31)$$

$$M(x) = \varphi(0)NU_2(x) + M(0)U_1(x) + Q(0)U_2(x); \quad (32)$$

$$Q(x) = Q(0). \quad (33)$$

Формулу (24) также перепишем в терминах начальных параметров

$$y(x) = y(0)U_1(x) + \varphi(0)U_2(x). \quad (34)$$

Пример. В качестве апробации полученных формул обратимся к хорошо изученному однородному стержню постоянного сечения. В таком частном случае, очевидно, следует положить $\phi(x) \equiv 1$, $E = E_0$, $\psi(x) \equiv 1$, $I = I_0$, $A(x) \equiv 1$. Тогда по формулам (20) и (19) будем иметь:

$$a_{n,0}(x) = x^{n-1}, a_{n,i}(x) = \int_0^x \int_0^x a_{n,i-1}(x) dx dx = \frac{x^{2i+n-1}}{(2i+n-1)!} (i = 1, 2, 3, \dots);$$

$$U_n(x) = \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i P^i a_{n,i}(x) = \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i P^i \frac{x^{2i+n-1}}{(2i+n-1)!} (n = 1, 2).$$

Отсюда $U_1(x) = \cos \sqrt{P}x$, $U_2(x) = \frac{1}{\sqrt{P}} \sin \sqrt{P}x$ и формула (30) преобразуется к известному

виду [10]

$$y(x) = y(0) + \frac{\varphi(0)}{k} \sin kx - \frac{M(0)}{k^2 EI} (1 - \cos kx) - \frac{Q(0)}{k^3 EI} (kx - \sin kx),$$

$$\text{где } k = \sqrt{P} = \sqrt{\frac{N}{EI}}.$$

Интересно также заметить, что в данном примере формула (23) вырождается в основное тригонометрическое тождество.

Представление параметров состояния через безразмерные фундаментальные функции. Далее поставим цель - выразить параметры состояния стержня через безразмерные фундаментальные функции. Такой подход даст возможность получить аналитическое представление для критической силы.

Определим множество функций

$$\alpha_{n,i}(x) = \frac{a_{n,i}(x)}{x^{2i+n-1}} (n = 1, 2) (i = 0, 1, 2, \dots).$$

На основании (20), (21) для вновь введенных функций будем иметь:

$$\alpha_{n,0}(x) = \left(\frac{x}{l}\right)^{n-1}, \quad \alpha_{n,i}(x) = \frac{1}{l^2} \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} \alpha_{n,i-1}(x) dx dx \quad (i = 1, 2, 3, \dots); \quad (35)$$

$$\alpha_{n,i}(x) = \frac{1}{l^{2i}} \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} \dots \int_0^x \int_0^x \frac{1}{A(x)} \int_0^x \frac{1}{A(x)} a_{n,0}(x) dx dx dx \dots dx dx. \quad (36)$$

Функции $\alpha_{n,0}(x)$, $\alpha_{n,i}(x)$ ($n = 1, 2$) ($i = 1, 2, 3, \dots$) являются безразмерными. Относительно начальной функции это очевидно. Что касается функций $\alpha_{n,i}(x)$, то их безразмерная природа вытекает из леммы в силу того, что представление (36) есть частный случай формулы (5).

Перейдем теперь в формуле (19) к безразмерным функциям $\alpha_{n,i}(x)$. Учитывая, что $a_{n,i}(x) = l^{2i+n-1} \alpha_{n,i}(x)$ ($n = 1, 2$) ($i = 0, 1, 2, \dots$), получим

$$U_n(x) = l^{n-1} X_n(x), \quad (37)$$

где

$$X_n(x) = \alpha_{n,0}(x) - K \alpha_{n,1}(x) + K^2 \alpha_{n,2}(x) - K^3 \alpha_{n,3}(x) + \dots, \quad (38)$$

$$K = Pl^2 = N \frac{l^2}{E_0 I_0}. \quad (39)$$

Новый неизвестный параметр K является безразмерным, в чем легко убедиться, подставив в формулу (39) размерности величин, которые там фигурируют. Следовательно, переход в формуле (19) к безразмерным функциям привел к ряду (38) по степеням безразмерного параметра K . В итоге функции $X_n(x)$ ($n = 1, 2$), определяемые этим рядом, являются безразмерными.

Относительно функций (35) будем придерживаться той же терминологии, что и для функций (20). По отношению к ряду (38) $\alpha_{n,i}(x)$ ($n = 1, 2$) ($i = 1, 2, 3, \dots$) будут образующими, а $\alpha_{n,0}(x)$ ($n = 1, 2$) – начальными.

Далее обозначим:

$$\tilde{\alpha}_{n,0}(x) = l \alpha'_{n,0}(x); \quad \tilde{\alpha}_{n,i}(x) = l \alpha'_{n,i}(x) \quad (n = 1, 2) \quad (i = 1, 2, 3, \dots). \quad (40)$$

Сопоставляя вторую из формул (40) с формулой (6), на основании следствия к лемме заключаем, что функции $\tilde{\alpha}_{n,i}(x)$ также будут безразмерными. Что касается первой из формул (40), то выполняя дифференцирование, находим $\tilde{\alpha}_{n,0}(x) = n - 1$.

Образует из функций (40) ряд

$$\tilde{X}_n(x) = \tilde{\alpha}_{n,0}(x) - K \tilde{\alpha}_{n,1}(x) + K^2 \tilde{\alpha}_{n,2}(x) - K^3 \tilde{\alpha}_{n,3}(x) + \dots. \quad (41)$$

Тогда

$$\tilde{X}_n(x) = l X'_n(x), \quad (42)$$

причем $\tilde{X}_n(x)$ ($n = 1, 2$) – безразмерные функции. Ряды (38), (41) по степеням K абсолютно и равномерно сходятся, что гарантировано такой же сходимостью исходных рядов (8), (9).

Равенства (30) - (32) с учетом (37), (42) теперь предстанут в виде:

$$y(x) = y(0) + \varphi(0) l X_2(x) - \frac{M(0)}{N} (1 - X_1(x)) - \frac{Q(0)l}{N} \left(\frac{x}{l} - X_2(x) \right); \quad (43)$$

$$\varphi(x) = \varphi(0) \tilde{X}_2(x) + \frac{M(0)}{Nl} \tilde{X}_1(x) - \frac{Q(0)}{N} (1 - \tilde{X}_2(x)); \quad (44)$$

$$M(x) = \varphi(0)NIX_2(x) + M(0)X_1(x) + Q(0)IX_2(x). \quad (45)$$

Равенство для продольной силы (33) осталось неизменным. Формула (34), применимая в случае шарнирно опертых концов стержня, запишется так

$$y(x) = y(0)X_1(x) + \varphi(0)IX_2(x). \quad (46)$$

Тождество (23) также перепишем в безразмерном формате

$$X_1(x)\tilde{X}_2(x) - \tilde{X}_1(x)X_2(x) = 1. \quad (47)$$

С точки зрения теории дифференциальных уравнений, равенством (43) дается общее решение уравнения (3), выраженное через безразмерные фундаментальные решения. Другие параметры состояния также выражены через безразмерные функции. Важно заметить, что размерности постоянных коэффициентов при безразмерных функциях в правых частях формул (43) - (46), (33) совпадают с размерностями соответствующих левых частей.

Таким образом, совокупностью формул (43) - (46), (33) - (36), (38) - (41) полностью определены параметры состояния, необходимые для исследования устойчивости стержня с произвольной непрерывной переменной жесткостью, сжатого постоянной продольной силой, при любых возможных граничных условиях.

Аналитическое представление для критической силы. Исходя из (39), в общем случае непрерывной переменной поперечной жесткости приходим к следующему аналитическому представлению для продольной силы

$$N = K \frac{E_0 I_0}{l^2}. \quad (48)$$

Следуя [1], безразмерный параметр K назовем *коэффициентом устойчивости*. Фактически, благодаря формуле (48), задача отыскания критической силы для стержня с непрерывной жесткостью сводится к отысканию соответствующего коэффициента устойчивости. Поскольку формулы для параметров состояния зависят именно от коэффициента устойчивости, то для его отыскания будут служить характеристические уравнения, к которым придем после реализации заданных граничных условий.

Выводы. В работе проинтегрировано дифференциальное уравнение продольного изгиба стержня с произвольной непрерывной переменной поперечной жесткостью, сжатого постоянной осевой продольной силой. В аналитическом виде выписаны формулы для перемещений и внутренних усилий в произвольном сечении стержня. Эти формулы выражены через начальные параметры и пригодны для исследования устойчивости стержня при любых возможных граничных условиях.

Решение данной проблемы открывает перспективу создания нового метода исследования стержней на устойчивость равновесия. Для этого достаточно указать эффективный метод численной реализации найденных здесь точных решений.

Список использованной литературы

1. Динник А.Н. Продольный изгиб. Кручение. – М.: Издательство академии наук СССР, 1955. – 392 с.
2. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник под редакцией Биргера И.А., Пановко Я.Г. т.3. – М.: «Машиностроение», 1968. – 576 с.

3. Алфутов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. – М.: «Машиностроение», 1978. – 312 с.
4. Ржаницын А.Р. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1991. – 439 с.
5. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. Т. 1. – М.: Издательство СКАД СОФТ, 2007. – 670 с.
6. Крутий Ю.С. Точное решение дифференциального уравнения свободных поперечных колебаний неоднородного прямого стержня переменного сечения с непрерывно распределенной переменной массой // Строительная механика и расчет сооружений. №5, 2011. с. 47-53.
7. Ржаницын А.Р. Устойчивость равновесия упругих систем. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. – 476 с.
8. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. – М.: Издательство «Наука», 1967. – 984 с.
9. Блейх Ф. Устойчивость металлических конструкций. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 544 с.
10. Киселев В.А. Строительная механика. – М.: Стройиздат, 1980. – 616 с.
11. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1988. – 552 с.
12. Федорюк М.В. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Наука, 1985. – 448 с.

ТОЧНЕ РІШЕННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ СТІЙКОСТІ РІВНОВАГИ ПРУЖНОГО СТЕРЖНЯ З ДОВІЛЬНОЮ БЕЗПЕРЕРВНОЮ ЗМІННОЮ ЖОРСТКІСТЮ

Крутий Ю.С., Сур'янінов М.Г.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Мета. Розвиток методу прямого інтегрування для задач механіки деформівного твердого тіла, які описуються диференціальними рівняннями зі змінними коефіцієнтами.

Методика. Застосування методу прямого інтегрування для побудови аналітичних рішень диференціальних рівнянь стійкості пружного стрижня з довільною безперервною змінною жорсткістю.

Результати. Наявність такого рішення може послужити основою для розробки нового методу досліджень з проблеми стійкості.

Наукова новизна. У загальному випадку безперервної змінної поперечної жорсткості приходимо до аналітичного подання для поздовжньої сили, що містить безрозмірний параметр, названий нами коефіцієнтом стійкості, внаслідок чого завдання відшукування критичної сили для стержня з безперервною жорсткістю зводиться до відшукування зазначеного коефіцієнта стійкості.

Практична значимість. Проінтегрувати диференціальне рівняння поздовжнього вигину стрижня з довільною безперервною змінною поперечною жорсткістю, стисненого постійної осьової поздовжньою силою. В аналітичному вигляді виписані формули для переміщень і внутрішніх зусиль в довільному перерізі стрижня. Ці формули виражені через початкові параметри і придатні для дослідження стійкості стрижня при будь-яких можливих граничних умовах.

Рішення даної проблеми відкриває перспективу створення нового методу дослідження стрижнів на стійкість рівноваги. Для цього достатньо вказати ефективний метод чисельної реалізації знайдених тут точних рішень.

Ключові слова: *стійкість, стиснений стержень, змінна жорсткість, метод прямого інтегрування, коефіцієнт стійкості, критична сила.*

EXACT SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF STABLE EQUILIBRIUM ELASTIC BEAM WITH AN ARBITRARY CONTINUOUS VARIABLE STIFFNESS

KRUTIIY JU.S., SURIANINOV N.G.

Odessa State Academy of Construction and Architecture

Goal. Development of the method of direct integration for problems of solid mechanics, which are described by differential equations with variable coefficients.

Methods. Application of the method of direct integration to build analytic solutions of differential equations of the stability of elastic rod with an arbitrary continuous variable stiffness.

Results. The existence of such solutions can serve as a basis for developing a new method of research on sustainability.

Scientific novelty. In general, the continuous variable lateral stiffness come to an analytical representation for the longitudinal force, containing a dimensionless parameter called us a factor of stability, so that the problem of finding the critical force for a rod with a continuous stiffness is reduced to finding the specified factor of stability.

Practical significance. Integrating the differential equation buckling rod with arbitrary continuous variable lateral stiffness, compressed constant axial longitudinal force. The analytical form of written formulas for the displacements and internal forces in an arbitrary section of the rod. These formulas are expressed in terms of the initial parameters and are suitable for investigating the stability of the rod at all possible boundary conditions.

The solution of this problem offers the prospect of creating a new method of investigating the stability of equilibrium of rods. It's enough to indicate effective method of numerical realization of exact solutions found here.

Keywords: *stability, compressed rod, a variable stiffness, the method of direct integration, stability factor, the critical force.*

УДК 621.763

ПРИЙМАК О.В., ПАСІЧНИК П.О.

Київський національний університет будівництва і архітектури

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ АБСОРБЕРА
СОНЯЧНОГО ПОВІТРОПІДІГРІВАЧА
ВИГОТОВЛЕНОГО З ГОФРОВАНОЇ
ВУГЛЕГРАФІТОВОГО ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА**

Мета. Дослідити конвективний теплообмін між абсорбером та омиваючим його повітрям. Знайти оптимальний спосіб гофрування вуглеграфітового трикотажного полотна для використання його у сонячних повітропідігрівачах.

Методика. В статті розглянуто експериментальний спосіб дослідження тепловіддачі при різних способах гофрування, порівняно їх між собою та співставлено з теоретичними даними щодо продуву рівної тканини вздовж.

Результати. Було досліджено характер тепловіддачі при різних способах гофрування та представлено її у вигляді рівнянь $Nu = f(Re)$ для діапазону чисел Рейнольдса $10^3 > Re > 10^4$. Після обробки експериментальних даних отримані критеріальні рівняння виду $Nu = C \cdot Re^n$, що описують конвективний теплообмін між абсорбером з вуглеграфітового полотна і омиваючим його повітрям.

Наукова новизна. Отримано критеріальні рівняння конвективного теплообміну між гофрованим вуглеграфітовим полотном, вкладеним у плоский канал, та повітрям що продувається через канал.

Практична значимість. Визначено оптимальний спосіб гофрування вуглеграфітового полотна для використання у сонячному повітропідігрівачі.

Ключові слова: сонячний повітропідігрівач, вуглеграфітове трикотажне полотно, конвективний теплообмін, геліотехніка.

Вступ. Розвиток впровадження геліосистем теплопостачання в Україні потребує розвитку геліотехнічного обладнання. Основні напрямки розвитку сонячних теплових колекторів: здешевлення (без погіршення енергетичної ефективності у порівнянні з існуючими на ринку моделями) та поліпшення експлуатаційних показників (зменшення ваги та крихкості). Як відмічають експерти [1], основний шлях удосконалення усіх типів геліоколекторів це використання для конструювання їх елементів нових матеріалів.

Для сонячних повітропідігрівачів використання нових матеріалів для виготовлення абсорберів сонячного випромінювання значно розширене можливістю застосування насадкових та пористо-капілярних матеріалів, на відміну від рідинних геліоколекторів, де постає необхідність утворення герметичних каналів у тілі абсорбера для проходження теплоносія. Знаходження та дослідження таких матеріалів викликає науковий інтерес.

Мета. Під час літературного та патентного дослідження [2] не виявлено випадків застосування вуглеграфітового трикотажного полотна у якості абсорбера сонячного теплового колектору. Метою статті є дослідження тепловіддачі між трикотажним абсорбером та омиваючим його повітрям, а також визначення оптимальної геометрії вкладання полотна у повітропідігрівач.

Постановка задачі. Для дослідження тепловіддачі в повітропідігрівачі необхідно провести експеримент, обробити дані та визначити критеріальні залежності в робочому діапазоні чисел Рейнольдса для різних способів гофрування вуглеграфітового полотна.

1. Методика проведення експериментальних досліджень. Для дослідження сонячного повітропідігрівача з абсорбером із вуглеграфітового трикотажного полотна на базі кафедри теплотехніки КНУБА сформовано випробувальний стенд (детальний опис приведено у [3]). Характеристики використаної у дослідженні вуглеграфітового полотна приведено в табл.1

Таблиця 1.

Характеристики використаного трикотажу

№	Характеристика	Розмірність	Значення
1	Поверхева щільність (вага 1 м ²)	кг/м ²	1597
2	Питомий поверхневий електричний опір	Ом·м	0,4·10 ⁴
3	Повітропроникність	Дм ³ /м ² с	90(72-108)
4	Вогнестійкість	сек	(вогнестійке)
5	Товщина полотна	мм	3-4
6	Вміст вуглецю	%	98,5
7	Вміст золи	%	1,5
8	Середня теплопровідність волокна	Вт/м К	287
9	Теплоємність волокна	кДж/кг К	0,72
10	Температуропровідність волокна	м ² /с	0,181
11	Водопоглинання	%	132,6
12	Залишкова деформація по довжині	%	4
13	Залишкова деформація по ширині	%	7

Дослід проводиться для каналу висотою 20мм, шириною 460мм та довжиною 1000мм. Полотно в каналі укладено гофровано – ребрами уздовж напрямку потоку повітря. Відстань від верху ребер до осклення складає 10мм, висота ребер також 10мм. Для визначення оптимальної відстані між ребрами кут розкриття гофри γ змінний (рис.1). Підведена до абсорбера потужність складає 100 Вт, швидкість в каналі змінюється в діапазоні 0,5 – 3,0 м/с. Для чистоти експерименту підвід теплоти до абсорбера здійснюється електричним струмом, а світлопрозоре покриття закрито шаром теплової ізоляції зі світловідбиваючою поверхнею, що обернена до каналу. Це дає змогу запобігти променевим та конвективним тепловтратам через осклення. Для визначення температури тканини в неї було вживлено вісім термопар, як показано на рис. 1. Температура та витрата повітря визначалась термоанемометром Testo 425.

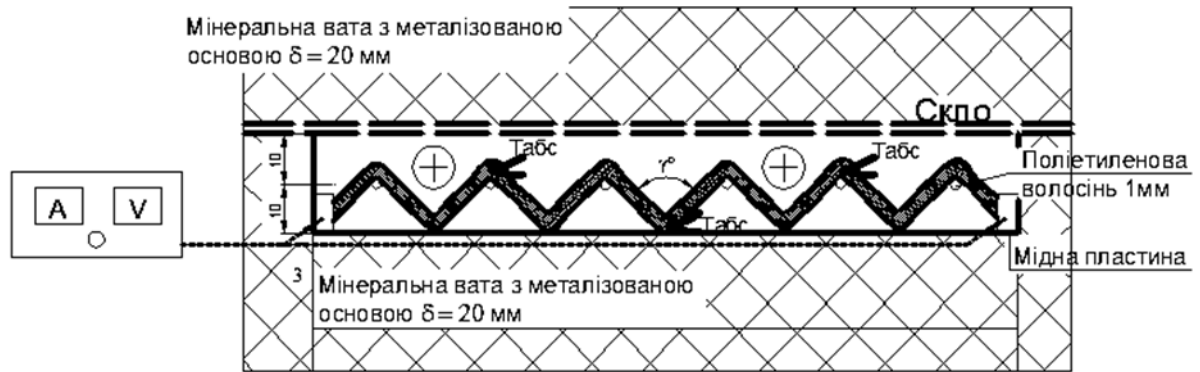


Рис. 1. Переріз експериментальної секції повітропідігрівача (напрямок руху повітря перпендикулярний площині рисунка)

2. Методика обробки результатів експерименту. Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{абс}$ визначається з рівняння Ньютона-Ріхмана [4]:

$$Q = \alpha_{абс} \cdot F \cdot (t_{ср.нов} - t_{ср.абс}), \quad (1)$$

де Q – кількість теплоти, що передана повітрю, Вт;

F – площа абсорбера, м^2 ;

$t_{ср.нов}$ – середня температура повітря у повітропідігрівачі, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{ср.абс}$ – середня температура абсорбера повітропідігрівача, $^{\circ}\text{C}$;

В свою чергу, кількість теплоти, що отримало повітря визначається з виразу:

$$Q = G \cdot c_p \cdot (t_{кк} - t_{нк}), \quad (2)$$

де G – масова витрата повітря, кг/с ;

c_p – ізобарна теплоємність повітря, кДж/кг K ;

$t_{кк}$ – температура повітря в кінці каналу, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{нк}$ – температура повітря на початку каналу, $^{\circ}\text{C}$;

Об'єднавши рівняння (1) і (2) отримаємо:

$$\alpha_{абс} = \frac{G \cdot c_p \cdot (t_{ср.нов} - t_{ср.абс})}{F \cdot (t_{кк} - t_{нк})}, \quad (3)$$

Згідно [4] характер тепловіддачі між нагрітою стінкою та омиваючим її повітрям описується рівнянням:

$$Nu = C \cdot Re^n, \quad (4)$$

де Nu – число Нуссельта;

Re – число Рейнольдса;

C і n – сталі, що визначаються експериментально.

Критерії подібності для каналу визначаються наступними рівняннями [4]:

$$Nu = \frac{\alpha_{абс} \cdot D_{екв}}{\lambda_{нов}}, \quad (5)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_{екв}}{\mu}, \quad (6)$$

де $D_{екв}$ – еквівалентний діаметр каналу, м;

$\lambda_{нов}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/м K ;

ρ – густина повітря, кг/м^3 ;

V – швидкість повітря у каналі, м/с;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, Н·с/м²;

Еквівалентний діаметр плаского каналу з частковим заповненням його простору визначається з рівняння [5]:

$$D_{екв} = \frac{4 \cdot F_0 \cdot \psi \cdot L}{F}, \quad (7)$$

де F_0 – площа перерізу каналу, м²;

ψ – об'ємна доля пустот у каналі (пористість);

L – довжина омивання, м;

Пористість каналу визначається з виразу [5]:

$$\psi = 1 - \frac{V_{тк}}{V}, \quad (8)$$

де $V_{тк}$ – об'єм тканини в каналі (визначається способом Архімеда), м³;

V – об'єм каналу без тканини, м³;

Критеріальні рівняння для випадку обдуву тканин повітрям зустрічаються у працях Луцика Р.В. та Малкіна Е.С.[6]:

$$Nu = 0,6 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,43}, \quad (9)$$

проте для отриманих ними рівнянь не вказано робочий діапазон чисел Рейнольдса, матеріал був рівно розтягнутий і вологість тканин складала не менше 50%, тому необхідно перевірити чи коректні відомі рівняння для випадку обдуву вуглеграфітового трикотажного полотна гофровано укладеного у плаский канал.

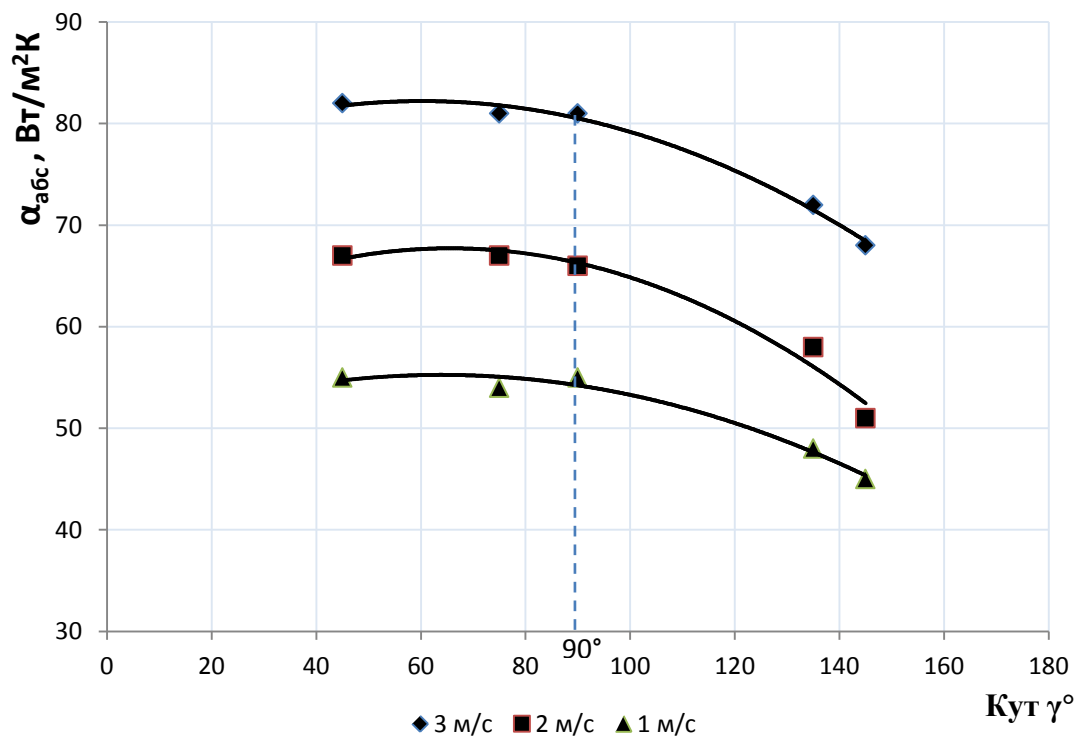


Рис. 2. Залежність коефіцієнту тепловіддачі $\alpha_{абс}$ від кута розкриття гофрування γ

3. Результати експериментальних досліджень. Досліди проведено для кутів розкриття гофри 45°, 75°, 90°, 135°, 145°. Для визначення оптимального кута розкриття побудована залежність $\alpha_{абс} = f(\gamma)$ (рис.2). Аналізуючи графік можна зробити висновок,

що при $\gamma \leq 90^\circ$ коефіцієнт тепловіддачі майже незмінний. Враховуючи, що при зменшенні кута розкриття збільшується кількість матеріалу абсорберу, а коефіцієнт тепловіддачі вже не зростає (рис.2) оптимальним кутом розкриття гофри приймаємо $\gamma \approx 90^\circ$.

Визначивши оптимальний спосіб укладки вуглеграфітового полотна в повітропідігрівачі, на основі рівнянь (5) та (6) побудовано графічну залежність $Nu=f(Re)$ для кута розкриття гофрування 90° (рис.3). З графіка видно, що відома теоретична залежність Луцика-Малкіна не підходить для даного досліджуваного випадку. На основі графіка методом логарифмування [4] визначено значення сталих C і n для рівняння (4) з точністю близько 97%, після чого при $10^3 \leq Re \leq 10^4$ рівняння (4) набуває вигляду:

$$Nu = 0,122 \cdot Re^{0,8} \quad (10)$$

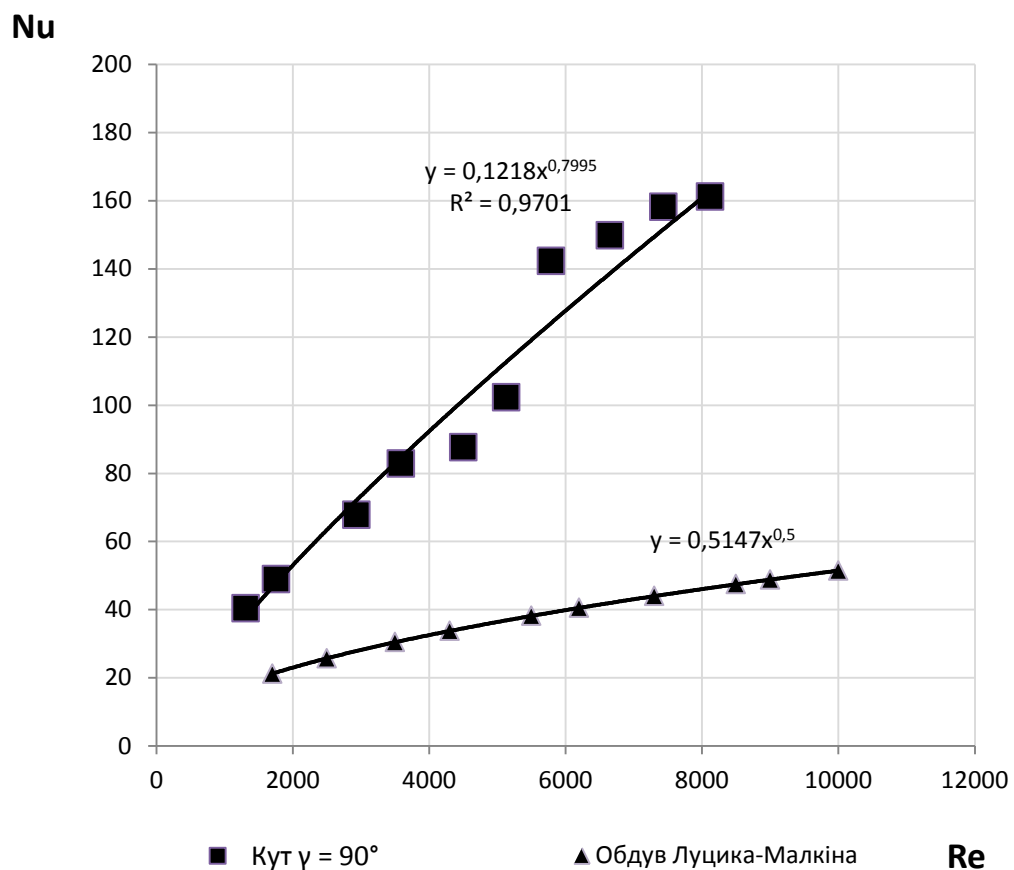


Рис.3. Графічне зображення залежності $Nu=f(Re)$

Висновки:

1. Необхідні подальші дослідження сонячних повітропідігрівачів з абсорбером із вуглеграфітового трикотажного полотна з точки зору аеродинаміки, оптики та економіки.

2. Проведені дослідження встановили, що оптимальний кут розкриття гофрування вуглеграфітового полотна у сонячному повітропідігрівачі з точки зору тепловіддачі становить 90° . Величина оптимального кута розкриття не залежить від швидкості повітря, що омиває абсорбер.

3. На основі експериментальних досліджень отримано критеріальне рівняння, що характеризує конвективний теплообмін між гофрованою вуглеграфітовим трикотажним полотном укладеним у плаский канал при $10^3 \leq Re \leq 10^4$: $Nu = 0,122 Re^{0,8}$. Встановлено, що використання відомого рівняння Луцика-Малкіна для обдуву тканини буде некоректним.

Список використаних джерел

1. ООО «Виссманн». Книга о «солнце» /- К.: Злато-Граф, 2010, 195с.
2. Пасічник П.О., Приймак О.В. Проблеми застосування повітряних геліосистем. Енергоефективність в будівництві: науково-технічний збірник. – Вип. 5/– К.: КНУБА, 2014. – 201-204 с.
3. Пасічник П.О., Експериментальне дослідження поглинаючої здатності абсорбера сонячного випромінювання виготовленого з вуглеграфітової тканини – Вип. 7/– К.: КНУБА, 2015. – 201-204 с.
4. Михеев М.А., Михеева И.М., Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М.: Энергия, 1977. – 344с.
5. Каст В.и др., Конвективный тепло- и массоперенос. Пер. с нем. – М.: Энергия, 1980. – 49с.
6. Луцик Р.В., Малкин Э.С., Абаржи И.И., Тепло- и массообмен при обработке текстильных материалов. – Киев: Наукова думка, 1993. – 343 с.

References

1. ООО «Vissmann». Kniga o «solntse» /- K.: Zlato-Graf, 2010, 195p.
2. Pasichnik P.O., Priymak O.V. Problemi zastosuvannya povitryanih geliosistem. Energoeffektivnist v budivnitstvi: naukovu-tehnichnyy zbirnik. – Vol. 5/– K.: KNUBA, 2014. – 201-204 p.
3. Pasichnik P.O., Eksperimentalne doslidzhennya poglinayuchoyi zdatnosti absorbera sonyachnogo viprominyuvannya vigotovlenogo z vuglegrafitovoyi tkanini – Vol. 7/– K.: KNUBA, 2015. – 201-204 p.
4. Miheev M.A., Miheeva I.M., Osnovy teploperedachi. Izd. 2-e, stereotip. M.: Energiya, 1977. – 344p.
5. Kast V., Konvektivniy teplo- i massoperenos. Per. s nem. – M.: Energiya, 1980. – 49p.
6. Lutsik R.V., Malkin E.S., Abarzhi I.I., Teplo- i massoobmen pri obrabotke tekstilnyih materialov. – Kiev: Naukova dumka, 1993. – 343 p.

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Волошкіною О.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ АБСОРБЕРА СОЛНЕЧНОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ГОФРИРОВАННОГО УГЛЕГРАФИТОВОГО ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА ПРИЙМАК А.В., ПАСЕЧНИК П.А.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Цель. Исследовать конвективный теплообмен между абсорбером и омывающим его воздухом. Найти оптимальный способ гофрирования углеграфитового трикотажного полотна для использования его в солнечных воздухонагревателях.

Методика. В статье рассмотрен экспериментальный способ исследования теплоотдачи при различных способах гофрирования, сравнение их между собой и сопоставление с теоретическими данными о продуве вдоль ровной ткани.

Результаты. Было исследовано характер теплоотдачи при различных способах гофрирования и представлен в виде уравнений $Nu = f(Re)$ для диапазона чисел Рейнольдса $10^3 > Re > 10^4$. После обработки экспериментальных данных получены критериальные уравнения вида $Nu = C \cdot Re^n$, описывающее конвективный теплообмен между абсорбером с углеграфитового полотна и омывающим его воздухом.

Научная новизна. Получены критериальные уравнения конвективного теплообмена между гофрированным углеграфитовым полотном, уложенным в плоский канал, и продуваемым через канал воздухом.

Практическая значимость. Определен оптимальный способ гофрирования углеграфитового полотна для использования в солнечном воздухоподогревателе.

Ключевые слова: *солнечный воздухоподогреватель, углеграфитовое трикотажное полотно, конвективный теплообмен, гелиотехника.*

RESEARCH CONVECTIVE HEAT TRANSFER FROM SOLAR AIR HEATER ABSORBERS, WHICH IS MADE OF CORRUGATED CARBON TEXTILE PRIYMAK O., PASICHNIK P.

The Kiev National University of Construction and architecture

Purpose. Explore the convective heat transfer between the absorber and air. Find the best way corrugating carbon textiles for use in solar air heater.

Methodology. The paper presents an experimental method of investigation convective heat transfer at different ways of corrugating. The obtained results are compared with theoretical equations.

Findings. It has been studied the nature of heat transfer at various ways of pleating and presented in the form of equations $Nu = f(Re)$ for a range of Reynolds numbers $10^3 > Re > 10^4$. After processing of the experimental data obtained criterial equations of the form $Nu = C \cdot Re^n$, describing convective heat transfer between the absorber with carbon textile and air.

Originality. We obtain criteria equations of convective heat transfer between the corrugated carbon textile, laid in a flat channel and blown through the air channel.

Practical value. It was found the best way of laying carbon textile for use in a solar air heater.

Keywords: *solar air heater, carbon textile, convective heat transfer, solar technology.*

УДК 677.055

ПЛЕШКО С.А., КОВАЛЬОВ Ю. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДА В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ З ЛОБОВИМ ФРИКЦІЙНИМ ВАРІАТОРОМ

Мета. Підвищення ефективності роботи в'язальних машин, в складі яких використовується лобовий фрикційний варіатор швидкості.

Методика. Використані сучасні методи теорії проектування в'язальних машин та їх приводів з варіаторами швидкості.

Результати. Розроблено метод визначення профілю робочої поверхні диску лобового фрикційного варіатора привода в'язальної машини, що забезпечує постійність крутного моменту його вихідного валу. В результаті досліджень запропоновано нову конструкцію лобового фрикційного варіатора з криволінійною робочою поверхнею диску. Використання в складі привода в'язальної машини такого фрикційного варіатора дозволяє забезпечити сталість крутного моменту на вихідному валу, що необхідно для підвищення ефективності роботи в'язальних машин за рахунок підвищення надійності та довговічності роботи привода. Запропонований лобовий фрикційний варіатор з криволінійною робочою поверхнею може бути використаний в приводах круглов'язальних, плосков'язальних, основов'язальних машин та автоматів.

Наукова новизна. Розроблено нову конструкцію привода в'язальної машини з лобовим фрикційним варіатором з криволінійною робочою поверхнею диску.

Практична значимість. Розробка інженерного методу визначення профілю робочої поверхні диску лобового фрикційного варіатора привода в'язальної машини, що забезпечує постійність крутного моменту його вихідного валу, та нової конструкції привода в'язальної машини з таким варіатором.

Ключові слова. в'язальна машина, привід в'язальної машини, лобовий фрикційний варіатор, робоча поверхня диску лобового фрикційного варіатора.

Вступ. Одним із суттєвих недоліків в'язальних машин є недосконалість приводів, в складі яких використовуються варіатори швидкості, що негативно впливає на ефективність їх роботи [1-4]. Тому проблема удосконалення приводів в'язальних машин з варіаторами швидкості є актуальною та своєчасною.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання впливу конструкцій варіаторів швидкості приводів в'язальних машин на їх довговічність, завданням досліджень є удосконалення приводів в'язальних машин, в складі яких використовуються лобові фрикційні варіатори швидкості.

Результати дослідження. Відомі приводи в'язальних машин, до складу яких входять лобові фрикційні варіатори з плоскою робочою поверхнею [4], що не дозволяє в процесі варіювання швидкості в'язальної машини підтримувати постійну величину крутного моменту на виході варіатора (крутний момент змінюється в залежності від передаточного числа варіатора). Ця обставина призводить до перевантажень елементів привода, особливо в період пуску в'язальної машини, що не дозволяє у повній мірі вирішити проблему підвищення довговічності роботи привода.

В основу досліджень авторів поставлена задача створити таку конструкцію привода в'язальної машини, в якій шляхом нового виконання його елементів та їх зв'язків, забезпечилось би підвищення довговічності роботи привода.

Поставлена задача вирішена тим, що в приводі в'язальної машини використаний лобовий фрикційний варіатор швидкості з криволінійною робочою поверхнею диску. Причому робоча поверхня диску виконана криволінійною, кривизна якої вибирається згідно умови:

$$\Delta Y_i = \frac{T}{CfR_2} \left(\frac{\Delta R_{2i}}{R_2 - \Delta R_{2i}} \right), \quad (1)$$

де ΔY_i - ордината кривизни робочої поверхні диска;

T - крутний момент на виході варіатора (приводного вала привода);

C - жорсткість пружини, що забезпечує притиск диску до котка варіатора);

f - коефіцієнт тертя пари коток – диск;

R_2 - максимальний робочий радіус диска;

ΔR_{2i} - i - та величина зміни робочого радіуса диска при i - тому положенні котка в процесі регулювання швидкості обертання приводного вала.

Використання в приводі в'язальної машини лобового фрикційного варіатора з криволінійною робочою поверхнею дозволяє в процесі варіювання швидкості машини підтримувати постійну величину крутного моменту на виході варіатора, що призводить до підвищення довговічності роботи привода та в'язальної машини в цілому.

На рис. 1 представлена кінематична схема привода, як приклад, круглов'язальної машини з лобовим фрикційним варіатором з криволінійною робочою поверхнею диску лобового варіатора.

Привід містить електродвигун 1, з'єднаний за допомогою лобового фрикційного варіатора 2 з вертикальним приводним валом 3, на кінцях якого жорстко закріплені циліндричні шестерні 4, 5 для кінематичного зв'язку з механізмами круглов'язальної машини (на рис. 1 не показані). Варіатор 2 містить коток 6, встановлений на валу електродвигуна 1, диск 7 з робочою поверхнею 8, встановлений на вертикальному приводному валу 3 на ковзній шпонці з можливістю притискання до котка 6, та пружину 9, встановлену на вертикальному приводному валу 3 та зв'язану з диском 7. Робоча поверхня 8 диска 7 виконана криволінійною.

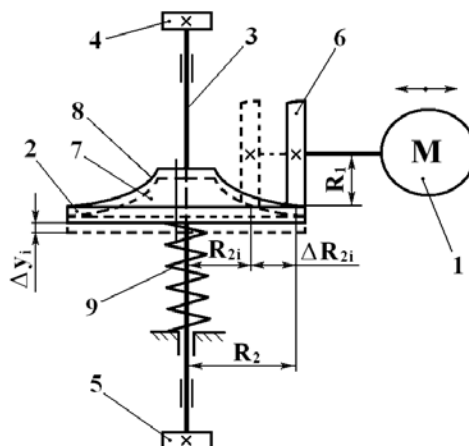


Рис. 1. Кінематична схема привода круглов'язальної машини

Принцип роботи привода такий. При вмиканні електродвигуна 1 обертальний рух його вала передається котку 6, жорстко встановленому на ньому, і далі за рахунок сил тертя, що виникають в результаті притиску пружиною 9 диска 7 до котка 6, диску 7. Обертальний рух диска 7 зумовлює обертання з'єднаного з ним вертикального приводного вала 3, на кінцях якого жорстко закріплені циліндричні шестерні 4, 5. Циліндричні шестерні 4, 5 приводять в обертальний рух механізми круглов'язальної машини (на рис. 1 не показані), що необхідно для роботи машини – в'язання трикотажного полотна.

Регулювання швидкості обертання вертикального приводного вала 3 і, відповідно, механізмів круглов'язальної машини (вибір раціонального режиму роботи машини) здійснюється таким чином. Осьове переміщення електродвигуна 1 з жорстко закріпленням на його валу котком 6 призводить до зміни робочого радіуса R_2 диска 7 і, таким чином, до зміни швидкості обертання вертикального приводного вала 3 (механізм осьового переміщення електродвигуна на кресленні не показаний). При цьому переміщення котка 6 вправо (згідно з рис. 1) збільшує величину робочого радіуса диска 7, що призводить до зниження частоти обертання вертикального приводного вала 3. При переміщенні котка 6 вліво робочий радіус диска 7 зменшується і частота обертання вертикального приводного вала 3 збільшується. Переміщення котка 6, що взаємодіє з криволінійною робочою поверхнею диска, зумовлює синхронне переміщення останнього вздовж осі вертикального приводного вала 3. При цьому криволінійна поверхня 8 диска 7, взаємодіючи з пружиною 9, зумовлює зміну сили притиску диска 7 до котка 6, що необхідно для забезпечення постійної величини крутного моменту на виході варіатора (на вертикальному приводному валу) і, таким чином, зниження навантажень на елементи привода.

Залежність (1) одержана із наступних міркувань.

Необхідна умова підвищення довговічності роботи привода:

$$T = F_i R_{2i} = \text{const}, \quad (2)$$

де F_i - сила тертя в парі коток – диск,

$$F_i = Q_i f = C(Y + \Delta Y_i) f; \quad (3)$$

Q_i - сила притиску диска до котка пружиною при i - тому положенні котка;

Y - початковий стиск пружини, необхідний для забезпечення умови:

$$T = C Y f R_2. \quad (4)$$

Враховуючи, що $R_{2i} = R_2 - \Delta R_{2i}$, із (2) знаходимо:

$$F_i = \frac{T}{R_2 - \Delta R_{2i}}. \quad (5)$$

Із виразу (3), враховуючи (5), знаходимо:

$$\Delta Y_i = \frac{T}{C f (R_2 - \Delta R_{2i})} - Y. \quad (6)$$

Із умови (4) маємо:

$$Y = \frac{T}{C f R_2}. \quad (7)$$

Підставивши (7) в (6), остаточно одержуємо:

$$\Delta Y_i = \frac{T}{C f} \left(\frac{1}{R_2 - \Delta R_{2i}} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{T}{C f R_2} \left(\frac{\Delta R_{2i}}{R_2 - \Delta R_{2i}} \right). \quad (8)$$

Для круглов'язальної машини КО-2, як приклад, з діаметром голкового циліндра 450 мм та його лінійною швидкістю 1,1 м/с, використовуючи вихідні дані [5]: $T = 22,7$ Нм; $R_2 = R_{2\text{max}} = 100$ мм; $R_1 = 50$ мм (конструктивно прийнято діапазон варіювання швидкості

вертикального приводного вала $D_{var} = \frac{R_{2min}R_{2max}}{R_1^2} = 2$); $f = 0,3$; $C = 20$ Н/мм, рівняння кривизни криволінійної робочої поверхні диску (1) має вид:

$$\Delta Y_i = 3,78 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{100 - \Delta R_{2i}} - 0,01 \right). \quad (9)$$

Тоді згідно з одержаною залежністю (9) максимальна ордината кривизни робочої поверхні диску (максимальний додатковий стиск пружини варіатора), що має місце при $\Delta R_{2i} = 50$ мм, буде становити: $\Delta Y_{max} = 37,8$ мм, що допустимо для лобових фрикційних варіаторів [6].

Висновки. Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- розроблено метод удосконалення приводів в'язальних машин, в складі яких використовуються варіатори швидкості;
- запропоновано нову конструкцію привода в'язальної машини з лобовим фрикційним варіатором з криволінійною робочою поверхнею диску;
- використання в складі привода в'язальної машини такого фрикційного варіатора дозволяє забезпечити сталість крутного моменту на його вихідному валу, що необхідно для підвищення ефективності роботи в'язальних машин.

Список використаної літератури

1. Волощенко В.П., Пипа Б.Ф., Шипуков С.Т. Эксплуатационная надежность машин трикотажного производства. - К.: Техніка, 1977. - 136 с.
2. Пипа Б.Ф., Волощенко В.П., Шипуков С.Т., Орлов В.А. Повышение надежности трикотажного оборудования. - К.: Техника, 1983. - 112 с.
3. Хомяк О.Н., Пипа Б.Ф. Повышение эффективности работы вязальных машин. - М.: Легпромбытиздат, 1990. - 209 с.
4. Пипа Б.Ф., Хомяк О.М., Марченко А.І. Приводи круглов'язальних машин (нові розробки та елементи розрахунку). – К: КНУТД, 2007. – 400 с.
5. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Черновцы, 1992. - 86 с.
6. Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы). – М.: Машиностроение, 1967. – 404 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Місячем В. П.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИВОДА ВЯЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ С ЛОБОВЫМ ФРИКЦИОННЫМ ВАРИАТОРОМ

ПЛЕШКО С.А., КОВАЛЕВ Ю.А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Повышение эффективности работы вязальных машин, в составе которых используется лобовой фрикционный вариатор скорости.

Методика. Использованы современные методы теории проектирования вязальных машин и их приводов с вариаторами скорости.

Результаты. Разработан метод определения профиля рабочей поверхности диска лобового фрикционного вариатора привода вязальной машины, обеспечивающего постоянство крутящего момента выходного вала. В результате исследований предложена новая конструкция лобового фрикционного вариатора с криволинейной рабочей

поверхностью диска. Использование в составе привода вязальной машины такого фрикционного вариатора позволяет обеспечить постоянство крутящего момента на выходном валу, что необходимо для повышения эффективности работы вязальных машин за счет повышения надежности и долговечности работы привода. Предложенный лобовой фрикционный вариатор с криволинейной рабочей поверхностью может быть использован в приводах кругловязальных, плосковязальных, основовязальных машин и автоматов.

Научная новизна. Разработана новая конструкция привода вязальной машины с лобовым фрикционным вариатором с криволинейной рабочей поверхностью диска.

Практическая значимость. Разработка инженерного метода определения профиля рабочей поверхности диска лобового фрикционного вариатора привода вязальной машины, обеспечивающего постоянство крутящего момента выходного вала, и новой конструкции привода вязальной машины с таким вариатором.

Ключевые слова: вязальная машина, привод вязальной машины, лобовой фрикционный вариатор, рабочая поверхность диска лобового фрикционного вариатора.

IMPROVEMENTS RESULTED KNITTING CAR FROM THE FRONT OF FRICTIONAL VARIATOR PLESHKO S.A., KOVALEV Y.A.

Kiev National University of Technology and Design

The Aim. Increase of efficiency of work of knittings machines a frontal friction speed variator is used in composition of which.

Methods. The use of modern methods of the theory of designing knitting machines and their drives with speed variator.

The Results. A method for determining the profile of the working surface of the disk drive head-friction variator knitting machine provides a constant torque output shaft. The studies proposed a new design of a frontal friction variator with a curved working surface of the disk. Using a part of the knitting machine drive friction variator allows for consistent torque at the output shaft, which is necessary to improve the efficiency of the knitting machine by increasing the reliability and durability of the drive. Proposed frontal friction variator with a curved working surface can be used in drives of circular knitting, flat knitting, warp knitting machines and machines.

Scientific novelty. The new construction of occasion of knitting machine is developed with frontal friction variatorom with the curvilinear working surface of disk.

The practical significance. Development Engineering method for determining the profile of the working surface of the disk drive head-friction variator knitting machine provides a constant torque of the output shaft, and a new design of the drive of the knitting machine with variator.

Key words: knitting machine, knitting machine drive, the front friction variator, the working surface of the disk head-friction variator.

УДК 531/534:624

СУРЬЯНИНОВ Н.Г.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
ШВАГИРЕВ П.А., ШОТАДЗЕ Г.Б.

Одесский национальный политехнический университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРУБОПРОВОДА В ВИДЕ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель. Построение математической модели трубопровода с использованием численно-аналитического метода граничных элементов.

Методика. Фрагмент надземного трубопровода, расположенный на системе промежуточных опор, рассматривается, как неразрезная балка, для расчета которой предлагается использовать метод граничных элементов.

Результаты. Получены эпюры распределения прогибов, углов поворота, изгибающих моментов и поперечных сил в сечениях трубопровода.

Научная новизна. Впервые для расчета трубопроводов применен численно-аналитический метод граничных элементов, который показал свою высокую точность и эффективность при анализе стержневых систем любой конфигурации.

Практическая значимость. Численная реализация предложенных здесь алгоритмов выполнена в свободно распространяемом математическом пакете Scilab. При этом программа носит универсальный характер, поскольку не накладывалось никаких ограничений на нагрузки, геометрические размеры трубопровода и материал.

Ключевые слова: трубопровод, неразрезная балка, метод граничных элементов, фундаментальные функции, граничные параметры, прогиб, Scilab.

Введение. В зависимости от условий нагружения, опирания и целей расчета элементы трубопровода приводятся к разным расчетным схемам. Практически охвачены все расчетные схемы (исключая фермы и пластины), рассматриваемые в строительной механике. В частности, это может быть балка, балка на упругом основании или в упругопластической среде, брус малой кривизны, рамная или арочная конструкция, плоско-пространственная система или стержень ломаного очертания. Более точными, хотя и гораздо более сложными, являются оболочечные модели — цилиндрическая оболочка с прямой или криволинейной осью в упругой или упругопластической среде. Предлагаются и другие модели [1, 2], которые, по мнению их авторов, приводят к более точным результатам расчета или упрощают расчет без снижения его точности. Достаточно часто трубопровод можно моделировать, как неразрезную балку.

Постановка задачи. Для реализации большинства перечисленных расчетных схем весьма эффективным представляется применение численно-аналитического метода граничных элементов (ЧА МГЭ), который особенно хорошо зарекомендовал себя при расчете плоских и пространственных стержневых систем разного очертания [3, 4].

Если несколько стержней, подверженных изгибу, соединены в единую конструкцию, то для системы стержней можно составить матричное уравнение типа

$$\begin{pmatrix} EI\nu(x) \\ EI\varphi(x) \\ M(x) \\ Q(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & -A_{13} & -A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & -A_{23} & -A_{24} \\ -A_{31} & -A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ -A_{41} & -A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} EI\nu(0) \\ EI\varphi(0) \\ M(0) \\ Q(0) \end{pmatrix} + \int_0^x \begin{pmatrix} A_{14}(x-\xi) \\ A_{24}(x-\xi) \\ -A_{34}(x-\xi) \\ -A_{44}(x-\xi) \end{pmatrix} q(\xi) d\xi, \quad (1)$$

или

$$\vec{Y}(x) = \vec{A}(x)\vec{X}(0) + \vec{B}(x), \quad (2)$$

где $\vec{Y}(x)$ – вектор параметров напряженно-деформированного состояния стержня в текущей точке; $\vec{A}(x)$ – квадратная матрица фундаментальных ортонормированных функций уравнения (1); $\vec{X}(0)$ – вектор начальных параметров; $\vec{B}(x)$ – вектор внешней нагрузки.

Матрица $\vec{A}(x)$ преобразуется к квазидиагональному виду, а векторы $\vec{Y}(x)$, $\vec{X}(0)$ и $\vec{B}(x)$ содержат параметры состояния всех стержней:

$$\vec{A} = \begin{vmatrix} A_1 & & & \\ & A_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & A_{n-1} \\ & & & & A_n \end{vmatrix}; \vec{Y} = \begin{vmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_{n-1} \\ Y_n \end{vmatrix}; \vec{X} = \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_{n-1} \\ X_n \end{vmatrix}; \vec{B} = \begin{vmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_{n-1} \\ B_n \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Если координате x каждого стержня дать граничное значение l_i , то для системы матриц (3) можно выполнить достаточное простое преобразование по схеме

$$\vec{Y}(l) = \vec{A}(l)\vec{X}(0) + \vec{B}(l) \rightarrow \vec{A}(l)\vec{X}(0) - \vec{Y}(l) = -\vec{B}(l) \rightarrow \vec{A}_*(l)\vec{X}_*(0, l) = -\vec{B}(l), \quad (4)$$

где конечные граничные параметры матрицы $\vec{Y}$ переносятся на место нулевых параметров вектора $\vec{X}$. При этом, эти векторы дополняются уравнениями равновесия и совместности перемещений узловых точек и граничными условиями. В конце схемы преобразований (4) получается система линейных алгебраических уравнений относительно начальных и конечных параметров всех стержней конструкции. После вычисления начальных параметров стержней их напряженно-деформированное состояние определяется по матричному уравнению (1). Таким образом, решение прямых задач строительной механики стержневых систем в ЧА МГЭ сводится к решению одной системы линейных алгебраических уравнений и вычислению напряженно-деформированного состояния во внутренних точках стержней по соотношениям метода начальных параметров. Такая схема решения обеспечивает получение весьма точных и достоверных результатов, которые можно представить средствами Scilab [5], DELPHI, MATLAB (или другой среды) в виде эпюр, форм свободных колебаний, потери устойчивости и т. п.

Результаты исследования. Рассмотрим некоторый фрагмент трубопровода, представленный на рис. 1.



Рис. 1 Фрагмент трубопровода

Представим расчетную схему этого трубопровода в виде неразрезной балки, нагруженной некоторой произвольной нагрузкой (рис. 2), характер действия которой, вообще говоря, никак не влияет на алгоритм предлагаемого ниже подхода.

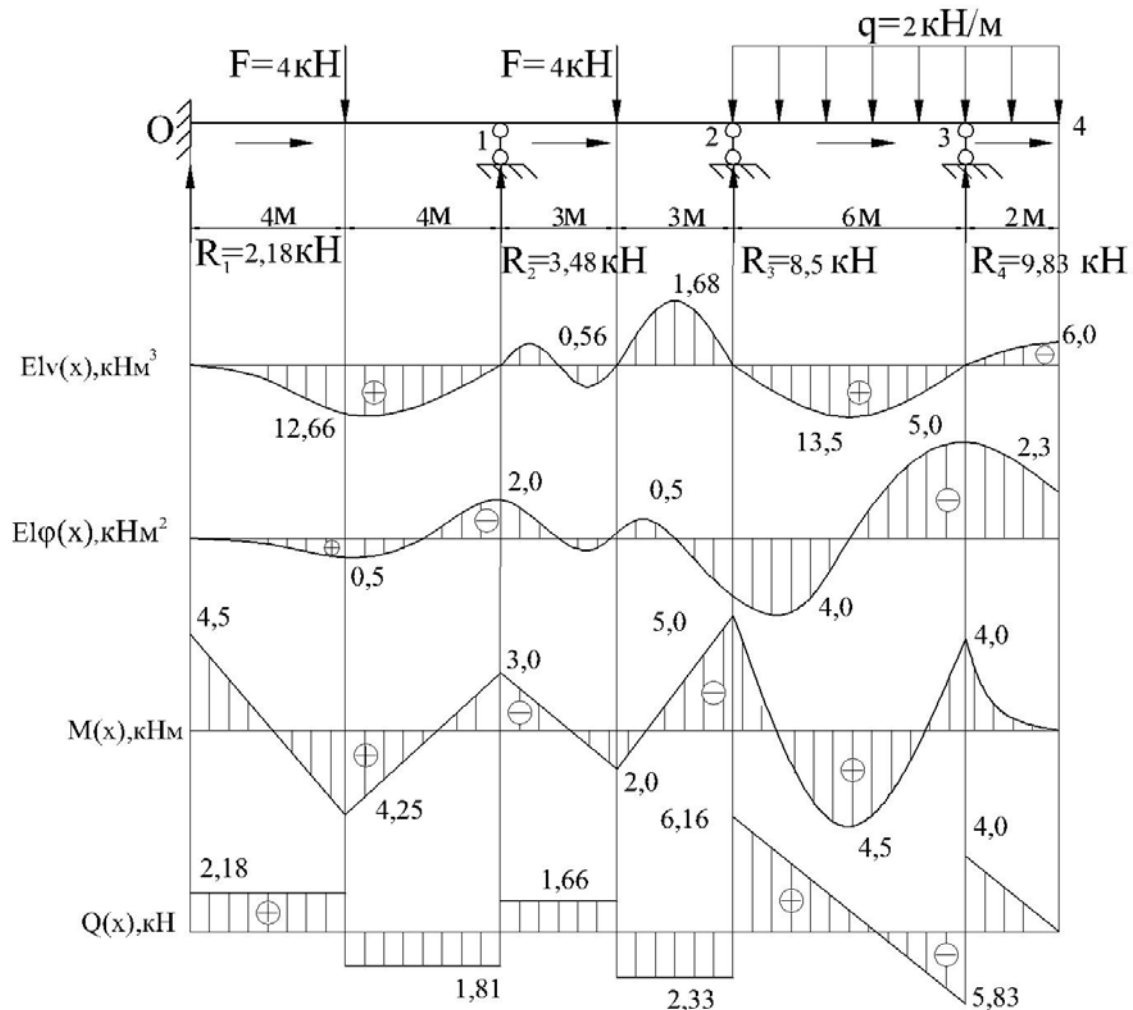


Рис. 2 Моделирование трубопровода неразрезной балкой

Следуя алгоритму ЧА МГЭ [3, 4], разобьем неразрезную балку на 4 одномерных модуля (рис. 2). Каждый из этих модулей работает в условиях изгиба, поэтому дифференциальное уравнение и начальные параметры модуля имеют вид

$$v^{IV}(x) = \frac{q_y(x)}{EI}; \quad EIv(0); \quad EI\varphi(0); \quad M(0); \quad Q(0). \quad (5)$$

Решение задачи Коши (5) в матричной форме запишется следующим образом

$$\begin{pmatrix} EIv(x) \\ EI\varphi(x) \\ M(x) \\ Q(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x & -A_{13} & -A_{14} \\ 0 & 1 & -x & -A_{13} \\ 0 & 0 & 1 & x \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} EIv(0) \\ EI\varphi(0) \\ M(0) \\ Q(0) \end{pmatrix} + \int_0^x \begin{pmatrix} (x-\xi)^3 q_y(\xi)/6 \\ (x-\xi)^2 q_y(\xi)/2 \\ -(x-\xi)q_y(\xi) \\ -q_y(\xi) \end{pmatrix} d\xi, \quad (6)$$

где

$$A_{13} = x^2/2; \quad A_{14} = x^3/6 \quad [3].$$

Матрица фундаментальных ортонормированных функций, записанная для всей системы, имеет вид

$$\bar{A} = \begin{array}{c|cccc|cccc|cccc|cccc} & l_1 & \frac{-l_1^2}{2} & -\frac{l_1^3}{6} & & & & & & & & & & & & \\ \hline & 1 & -l_1 & \frac{-l_1^2}{2} & -1 & & & & & & & & & & & \\ & & 1 & l_1 & & -1 & & & & & & & & & & \\ & -1 & & 1 & & & & & & & & & & & & \\ \hline & & & & & l_2 & \frac{-l_2^2}{2} & -\frac{l_2^3}{6} & & & & & & & & \\ & & & & & 1 & -l_2 & \frac{-l_2^2}{2} & -1 & & & & & & & \\ & & & & & & 1 & l_2 & & -1 & & & & & & \\ & & & & & & & 1 & & & & & & & & \\ & -1 & & & & & & 1 & & & & & & & & \\ \hline & & & & & & & & & l_3 & \frac{-l_3^2}{2} & -\frac{l_3^3}{6} & & & & \\ & & & & & & & & & 1 & -l_3 & \frac{-l_3^2}{2} & -1 & & & \\ & & & & & & & & & & 1 & l_3 & & -1 & & \\ & & & & & & & & & & & 1 & & & & \\ & & & & & -1 & & & & & & 1 & & & & \\ \hline & & & & & & & & & -1 & & & & l_4 & \frac{-l_4^2}{2} & -\frac{l_4^3}{6} \\ & & & & & & & & & & & & -1 & 1 & -l_4 & \frac{-l_4^2}{2} \\ & & & & & & & & & & & & & 1 & l_4 & \\ & & & & & & & & & & & & & & 1 & \end{array}$$

Сформируем векторы начальных параметров $\vec{X}_*$, конечных параметров $\vec{Y}$ и внешней нагрузки $\vec{B}$. При этом в матрицах $\vec{X}_*$ и $\vec{Y}$ учитываем краевые условия каждого модуля, уравнения равновесия и условия совместности перемещений узлов 1, 2, 3, а элементы вектора нагрузки определяем по формулам

$$\begin{aligned} B_{11} &= F(x - a_1)_+^3 / 6 + M(x - a_2)_+^2 / 2 + q[(x - a_3)_+^4 - (x - a_4)_+^4] / 24; \\ B_{21} &= F(x - a_1)_+^2 / 2 + M(x - a_2)_+ + q[(x - a_3)_+^3 - (x - a_4)_+^3] / 6; \\ B_{31} &= F(x - a_1)_+ + M \cdot H(x - a_2) + q[(x - a_3)_+^2 - (x - a_4)_+^2] / 2; \\ B_{41} &= F \cdot H(x - a_1) + q[(x - a_3)_+ - (x - a_4)_+]. \end{aligned} \quad (7)$$

В соответствии с краевыми условиями в матрице $\bar{X}_*$ нулевыми оказываются 1, 2, 5, 9, 13 строки. Соответственно обнуляем 1, 2, 5, 9 и 13 столбцы матрицы $\bar{A}$. Нулевые строки в $\bar{X}_*$ заменяем соответствующими независимыми параметрами из матрицы $\bar{Y}$.

$\bar{X}_* =$	1	$EI v_{(0)}^{0-1} = 0; Q_{(\ell)}^{0-1}$	$\bar{Y} =$	1	$EI v_{(\ell)}^{0-1} = 0$	$\bar{B} =$	1	256/6
	2	$EI \varphi_{(0)}^{0-1} = 0; Q_{(\ell)}^{1-2}$		2	$EI \varphi_{(\ell)}^{0-1} = EI \varphi_{(0)}^{1-2}$		2	32,0
	3	$M_{(0)}^{0-1}$		3	$M_{(\ell)}^{0-1} = M_{(0)}^{1-2}$		3	-16,0
	4	$Q_{(0)}^{0-1}$		4	$Q_{(\ell)}^{0-1}$		4	-4,0
	5	$EI v_{(0)}^{1-2} = 0; Q_{(\ell)}^{2-3}$		5	$EI v_{(\ell)}^{1-2} = 0$		5	18,0
	6	$EI \varphi_{(0)}^{1-2}$		6	$EI \varphi_{(\ell)}^{1-2} = EI \varphi_{(0)}^{2-3}$		6	18,0
	7	$M_{(0)}^{1-2}$		7	$M_{(\ell)}^{1-2} = M_{(0)}^{2-3}$		7	-12,0
	8	$Q_{(0)}^{1-2}$		8	$Q_{(\ell)}^{1-2}$		8	-4,0
	9	$EI v_{(0)}^{2-3} = 0; EI v_{(\ell)}^{3-4}$		9	$EI v_{(\ell)}^{2-3} = 0$		9	108,0
	10	$EI \varphi_{(0)}^{2-3}$		10	$EI \varphi_{(\ell)}^{2-3} = EI \varphi_{(0)}^{3-4}$		10	72,0
	11	$M_{(0)}^{2-3}$		11	$M_{(\ell)}^{2-3} = M_{(0)}^{3-4}$		11	-36,0
	12	$Q_{(0)}^{2-3}$		12	$Q_{(\ell)}^{2-3}$		12	-12,0
	13	$EI v_{(0)}^{3-4} = 0; EI \varphi_{(\ell)}^{3-4}$		13	$EI v_{(\ell)}^{3-4}$		13	4/3
	14	$EI \varphi_{(0)}^{3-4}$		14	$EI \varphi_{(\ell)}^{3-4}$		14	8/3
	15	$M_{(0)}^{3-4}$		15	$M_{(\ell)}^{3-4} = 0$		15	-4,0
	16	$Q_{(0)}^{3-4}$		16	$Q_{(\ell)}^{3-4} = 0$		16	-4,0

Переставив строки матриц $\bar{A}_*$ и $\bar{B}$ в новом порядке, методом Гаусса определяем граничные параметры неразрезной балки.

$$\begin{aligned}
 Q_{(\ell)}^{0-1} &= -1,8125 \text{ кН}; & Q_{(\ell)}^{1-2} &= -2,3333 \text{ кН}; & M_{(0)}^{0-1} &= -4,5000 \text{ кНм}; \\
 Q_{(0)}^{0-1} &= 2,1875 \text{ кН}; & Q_{(\ell)}^{2-3} &= -5,8333 \text{ кН}; & EI \varphi_{(0)}^{1-2} &= -2,0000 \text{ кНм}^2; \\
 M_{(0)}^{1-2} &= -3,0000 \text{ кНм}; & Q_{(0)}^{1-2} &= 1,6667 \text{ кН}; & EI v_{(\ell)}^{3-4} &= -6,0000 \text{ кНм}^3; \\
 EI \varphi_{(0)}^{2-3} &= 4,0000 \text{ кНм}^2; & M_{(0)}^{2-3} &= -5,0000 \text{ кНм}; & Q_{(0)}^{2-3} &= 6,1667 \text{ кН}; \\
 EI \varphi_{(\ell)}^{3-4} &= -2,3333 \text{ кНм}^2; & EI \varphi_{(0)}^{3-4} &= -5,0000 \text{ кНм}^2; & M_{(0)}^{3-4} &= -4,0000 \text{ кНм}; \\
 Q_{(0)}^{3-4} &= 4,0000 \text{ кН}.
 \end{aligned}$$

В расчетах этих величин не учитывалась деформация сдвига, поэтому полученные значения весьма близки к действительным значениям параметров балки.

Определяя состояние конструкции во внутренних точках по уравнению (6), можно построить эпюры, представленные на рис. 2.

Выводы. Таким образом, прямолинейные участки надземного трубопровода, расположенного на системе промежуточных опор, можно рассматривать, как неразрезные балки, для анализа напряженно-деформированного состояния которых эффективно использовать численно-аналитический метод граничных элементов.

Список использованной литературы

1. Айнбиндер А. Б. Расчет магистральных и промышленных трубопроводов на прочность и устойчивость / А.Б. Айнбиндер. — М.: Изд-во Недр, 1991. — 288 с.
2. Рудаченко А.В. Исследования напряженно-деформированного состояния трубопроводов: учебное пособие / А.В. Рудаченко, А.Л. Саруев; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. — 136 с.
3. Оробей В.Ф., Сурьянинов Н.Г. Практикум по решению краевых задач механики: Учебное пособие для студентов технических специальностей. — Одесса: Астропринт, 2011. — 408 с.
4. Оробей В.Ф., Сурьянинов Н.Г. / Основные положения численно-аналитического варианта МГЭ. — Труды Санкт-Петербургского политехнич. ун-та / Инженерно-строительный журнал. — № 4 (22). — СПб, 2011. — С. 33-39.
5. Алексеев Е. Р. Scilab: Решение инженерных и математических задач / Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова, Е. А. Рудченко. — М. : ALT Linux ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 269с.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТРУБОПРОВОДУ У ВИГЛЯДІ НЕРОЗРІЗНОЇ БАЛКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СУР'ЯНИНОВ Н.Г.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

ШВАГІРЕВ П.А., ШОТАДЗЕ Г.Б.

Одеський національний політехнічний університет

Мета. Побудова математичної моделі трубопроводу з використанням чисельно-аналітичного методу граничних елементів.

Методика. Частковий надземного трубопроводу, розташований на системі проміжних опор, розглядається, як нерозрізна балка, для розрахунку якої пропонується використовувати метод граничних елементів.

Результати. Отримано епюри розподілу прогинів, кутів повороту, згинальних моментів і поперечних сил в перетинах трубопроводу.

Наукова новизна. Вперше для розрахунку трубопроводів застосований чисельно-аналітичний метод граничних елементів, який показав свою високу точність і ефективність при аналізі стрижневих систем будь-якої конфігурації.

Практична значимість. Чисельна реалізація запропонованих тут алгоритмів виконана у вільно розповсюджену математичному пакеті Scilab. При цьому програма носить універсальний характер, оскільки не накладалося жодних обмежень на навантаження, геометричні розміри трубопроводу і матеріал.

Ключові слова: *трубопровід, нерозрізна балка, метод граничних елементів, фундаментальні функції, граничні параметри, прогин, Scilab.*

MATHEMATICAL MODEL OF CONDUIT AS A CONTINUOUS BEAM USING BOUNDARY ELEMENT METHOD

SURIANINOV N.G.

Odessa State Academy of Construction and Architecture

SHVAGIREV P.A., SHOTADZE G.B.

Odessa National Polytechnic University

Goal. Constructing a mathematical model of the pipeline with the use of numerical-analytical boundary element method.

Methods. Detail aboveground pipeline system located on the intermediate supports, considered as continuous beam, for the calculation of which is proposed to use the boundary element method.

Results. Obtained diagrams of the distribution of deflections, angles of rotation, bending moments and shear forces in sections of the pipeline.

Scientific novelty. For the first time for the calculation of pipelines used numerical-analytical boundary element method, which showed its high accuracy and efficiency in the analysis of core systems of any configuration.

Practical significance. Numerical realization of the offered algorithms are implemented in a freely distributed mathematical package Scilab. The program is universal, because it does not impose any restrictions on load, geometric dimensions and material of the pipe.

Keywords: *pipeline, continuous beam, the boundary element method, the fundamental functions, boundary parameters, deflection, Scilab.*

УДК 685.31

ПАВЛІК М.В., ЧЕРТЕНКО Л.П., КЕРНЕСІ В.П.,
ГАРКАВЕНКО С.С.

Київський національний університет технологій та дизайну

**РОЗРОБКА ПРОСТОРОВОГО ДИЗАЙНУ ДИТЯЧОГО
ВЗУТТЯ
НА ОСНОВІ РАЦІОНАЛЬНИХ КОЛОДОК
В СЕРЕДОВИЩІ DELCAM CRISPIN**

Мета. Розробка асортименту дитячого взуття з урахуванням споживчих вимог на основі раціональних колодок для дівчат та хлопчиків 6-7 років в середовищі сучасних графічних САПР взуття.

Методика. Методи досліджень базуються на методиках антропометричних вимірювань стопи, способах проектування форми та конструкцій взуття на основі параметрів стопи з використанням аналітичних досліджень існуючих способів проектування взуттєвої колодки.

Результати. Розроблено методику проектування дитячої колодки та конструктивної основи верху взуття в середовищі сучасних САПР взуття на основі антропометричних параметрів стоп дітей 6-7 років; розроблено актуальний асортимент взуття для дівчат та хлопчиків з урахуванням антропометричних та естетичних вимог.

Наукова новизна. Розроблено методику проектування раціональної колодки на основі антропометричних параметрів стопи та на основі прототипу без 3-d сканера в середовищі спеціалізованих САПР взуття.

Практична значимість. Запропонована методика проектування колодок в середовищі САПР взуття придатна для реалізації її в умовах вітчизняних підприємств з метою отримання нових форм колодок, які відповідають антропометричним та іншим актуальним вимогам, та сприяють підвищенню рівня якості взуття, що виготовляється.

Ключові слова: колодка, антропометричні параметри, прототип, сітка ОДМО, УРК, САПР.

Вступ. Виробництво дитячого взуття являє собою досить складний багатоетапний процес, в якому задіяні різні елементи оснащення, деталі та комплектуючі. Процес їх проектування пов'язаний з певними труднощами, викликаними різною геометрією цих елементів і особливостями їх виготовлення. Сучасний рівень розвитку взуттєвого виробництва передбачає широке застосування систем автоматизованого проектування (САПР) на всіх етапах проектування як взуттєвих конструкцій, так і комплектуючих та устаткування. Програмний комплекс Crispin компанії Delcam дозволяє вирішувати завдання по розробці дизайну, технології, декорування та виготовлення всіх типів взуття, проектування колодок, підошов, каблуків та інших комплектуючих [1]. Максимальна ефективність впровадження програмного комплексу Delcam Crispin досягається тоді, коли програмне забезпечення доповнено відповідним прогресивним обладнанням. Однак у сучасних умовах жорсткої кризи і спадаючої економіки в Україні далеко не всі підприємства можуть дозволити собі повний комплект обладнання та програмного забезпечення. Оптимальним рішенням може бути використання окремих програмних модулів Delcam Crispin та мінімального набору доступного устаткування. Так, найбільш популярними є модулі LastMaker для проектування взуттєвої колодки, ShoeMaker для просторового моделювання взуття на поверхні колодки, Engineer для двохмірного

проектування та градирування ґрунд-моделі взуття, в комплекті з розкрійним столом або плоттером [2].

Постановка завдання. Одним з основних показників якості дитячого взуття є його зручність, яка найбільшою мірою залежить від правильного проектування взуттєвої колодки [3]. Неправильно сконструйоване взуття, що виготовляється на нераціональних колодках, основна причина розвитку патологій стоп [4], особливо небезпечним це явище є для дітей, оскільки їхні стопи знаходяться в стадії розвитку та дуже вразливі до дії негативних факторів. Незважаючи на масу форм і фасонів колодок, вироблених вітчизняними та зарубіжними підприємствами, існує серйозна проблема відповідності форми виробу і параметрів стопи дитячих груп населення. В умовах українських підприємств слушним є рішення проектування власних раціональних колодок на основі обґрунтованих параметрів. Вирішити це завдання можливо шляхом проведення масових обмірів стоп всіх дитячих статеві-вікових груп і розробкою розмірної типології стоп.

Масові антропометричні дослідження стоп дітей 6-7 років, проведені кафедрою КТВШ Київського національного університету технологій та дизайну в 2010 році [5] (Рис.1), дали вичерпну інформацію про розміри та морфологію стоп дітей та дозволили сформулювати базу даних для проектування взуттєвих колодок. Дослідження показали, що середньоарифметичне значення довжини стоп хлопчиків досліджуваної групи складає 198,8 мм, а у дівчаток 196,4 мм. Для проведення широкої програми антропометричних досліджень та отримання більш повної інформації по форморозмірах стоп дітей дошкільного віку було відібрано 30 хлопчиків і 30 дівчаток з вказаною середньою довжиною стопи $\pm 2,5$ мм.

Всього в процесі широкої програми антропометричних досліджень обміряли 8 довжинних параметрів, 10 широтних параметрів, 5 висотних і 4 обхватних параметра.



Рис. 1. Вимірювання дитячих стоп контактним методом

Результати дослідження. Порівняльний аналіз отриманих антропометричних даних з параметрами колодок, регламентованих існуючими нормативно-технічними документами, показали суттєві відмінності по довжинним та обхватним параметрам. Це говорить про необхідність розробки нових фасонів колодок для дітей віком 6-7 років, які успішно могли б застосовуватися для виробництва комфортного вітчизняного дитячого взуття.

Взуттєва колодка представляє собою досить складне тривимірне тіло, яке суттєво відрізняється по формі від стопи. Досить велику складність представляють собою параметри переходу від формо-розмірів стопи до колодки, що враховують особливості функціонування

стопи, припустимо стискання стопи матеріалами взуття, відносно розтягнення матеріалів під час носіння та ін. [6]. При проектуванні взуттєвих колодок, орієнтованих на масове взуттєве виробництво, необхідно враховувати цілий ряд особливостей та вимог, пропонованих до дитячого взуття [7], а саме:

- Обхват колодки в пучках повинен бути на 3-4 мм більше відповідного обхвату стопи;
- Обхват по середині стопи повинен бути на 5-6 мм більше обхвату стопи;
- Точка косоного підйому зміщується в порівнянні з дорослими статтево-віковими групами вперед: вершина косоного підйому в колодці знаходиться на відстані 0.59Дст від найбільш випуклої точки п'яти;
- Обхват косоного підйому більше відповідного обхвату стопи на 8-10 мм;
- При розрахунку довжини сліду колодки до реальної довжини стопи слід додавати 5 мм на піврічний приріст стопи;
- Припуск на збільшення довжини стопи при ходьбі приймається в середньому 5-6 мм;
- Для проектування колодок та взуття обираємо висоту припіднятості п'яткової частини колодки 10 мм.

Для розрахунку довжини сліду розроблюваної колодки застосуємо формулу (1)

$$Дсл = N + P1 + P2 + P3 - S \quad (1)$$

де N – номер колодки в метричній системі відповідно до довжини стопи

S – величина зсуву ребра сліду в п'ятковій частині

P1 – припуск мінімальний нормальний, що враховує збільшення стопи при русі, приймаємо для дитячих колодок P1=5

P2 – припуск на піврічний приріст дитячої стопи, приймаємо 5 мм

P3 – припуск декоративний, може бути відсутній

Згідно антропометричних розмірів, функціональних особливостей та вимог, регламентованих нормативними документами, розраховано основні параметри колодки для досліджуваної групи споживачів (Табл. 1):

Таблиця 1.

Параметри дитячих колодок для хлопчиків і для дівчаток 6-7 років

Параметри мм.	Стопи		Колодки	
	Для дівчаток	Для хлопчиків	Для дівчаток	Для хлопчиків
Довжина	196,4	198,8	207	210
Обхват в пучках	198	200	204	206
Обхват по середині стопи	215	220	222	227
Обхват косоногопідйому	254,1	262,3	264	272
Висота каблука	-	-	5-10	5-10

На основі цих даних було спроектовано дитячі колодки в середовищі Crispin LastMaker. Процес проектування представляє собою редагування форми колодки, обраної з наявної бази даних [8].

Насамперед, необхідно відмасштабувати колодку, привівши її основні параметри у відповідність з потрібними антропометричними розмірами, за допомогою функції *Розширені налаштування*. Габаритна довжина колодки встановлюється 207 для дівчаток і 210 для хлопчиків.

Ця функція також дозволяє коригувати форму колодки шляхом інтерактивного зміни її геометричних параметрів окремих ділянок, контурів і перетинів.

Тут доступні варіанти функції для редагування загальних параметрів колодки; носкової частини; пучків та п'яткової частини. Кожна з закладок передбачає можливість використання свого набору функцій, необхідних для фрагментарного редагування окремих ділянок форми колодки.

Далі приводимо слід колодки у відповідність зі середньотиповою плантограмою, отриманою в результаті антропометричних обмірів. Для цього використовували режим *Ортопедія*. Завантаживши зображення плантограми, калібруємо його відповідно до довжини опорного відрізка і наводимо в потрібне положення, потім накладаємо на поверхню сліду (рис.2). Далі застосовуємо функцію *Профілі* для редагування контуру сліду у відповідності до контуру плантограми (синій контур на Рис. 2).

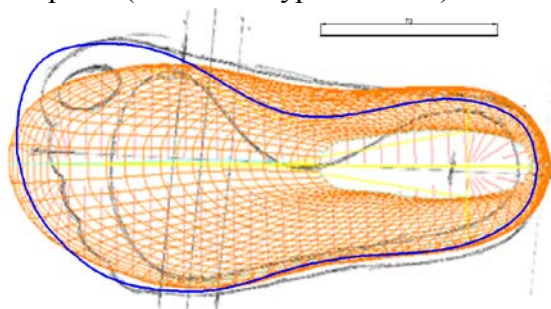


Рис. 2. Накладання плантограми на слід колодки

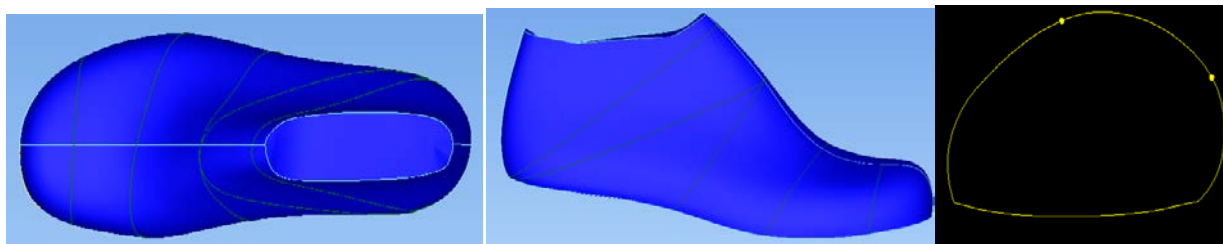


Рис. 3. Створення контрольних перерізів колодки та коригування поперечних перерізів

Спроектована колодка має фасон 3112-У4 згідно з прийнятою на території України системи класифікації колодок. Така колодка застосовується для виготовлення закритого взуття типу туфлі, напівчеревики, туфлі ремінцевих конструкцій тощо.

Однак, якщо в рамках взуттєвого виробництва перед модельєром стоїть завдання розробки асортиментного ряду взуття на основі готових колодок, що застосовуються на підприємстві, тоді необхідно отримати цифрову тривимірну форму колодки, ідентичну формі прототипу. Така цифрова копія може бути отримана шляхом сканування фізичного прототипу колодки контактною координатно-вимірювальною машиною або безконтактним 3D - сканером і оцифрована у модулі ModelTracer. При використанні сканування готової колодки-прототипу необхідно враховувати можливі похибки, що виникають при скануванні

та розпластуванні поверхні колодки. Тому для порівняння параметрів колодки-прототипу, що застосовується на виробництві, з колодкою, від-сканованою 3d-сканером і конвертованою в LastMaker і в ShoeMaker, в роботі були проведені дослідження основних розмірних ознак колодок.

Найсуттєвіші відхилення виявилися після конвертації колодки в програму ShoeMaker, де обхват косого підйому зменшився на 3-4 мм, а всі інші параметри відрізняються в середньому на 1-1.5 мм, що знаходиться в межах помилки вимірювання, враховуючи складну незакономірну поверхню колодки.

Інша задача, яку було поставлено в роботі, розробити таку методику проектування колодки в середовищі LastMaker, за допомогою якої можна було б відтворити цифрову копію колодки-прототипа за відсутності професійного 3d-сканера. Для цього необхідні такі вихідні розміри прототипу: довжина сліду колодки, габаритна довжина колодки висота по гребеню та по п'ятковому контуру, обхват колодки в пучках та по середині стопи, відсканована розгортка сліду колодки та фото колодки збоку.

Спочатку масштабуємо відібрану з бази даних колодку за допомогою функції *Розширені налаштування* так, щоб її габаритна довжина та ширина відповідала параметрам прототипу. Далі виконуємо накладання зображень відсканованої розгортки сліду та фото колодки збоку, використовуючи режим *Ортопедія*, приводячи їх до потрібного розміру (рис.4). Далі застосовуємо функцію *Профілі* для редагування контуру поздовжнього профілю та сліду колодки у відповідності до сканованих зображень фото колодки та плантограми.

Для контролю параметрів отриманої колодки проводили обміри основних розмірних параметрів початкової і спроектованої колодки, а також порівнювали УРК (умовні розгортки бічної поверхні колодки) (Рис. 5). Порівняльний аналіз показав, що наявні відмінності в розмірах практично не перевищують (або перевищують незначно) відхилення в розмірах, що мають місце при скануванні і конвертації поверхні колодки з використанням 3-d сканера.

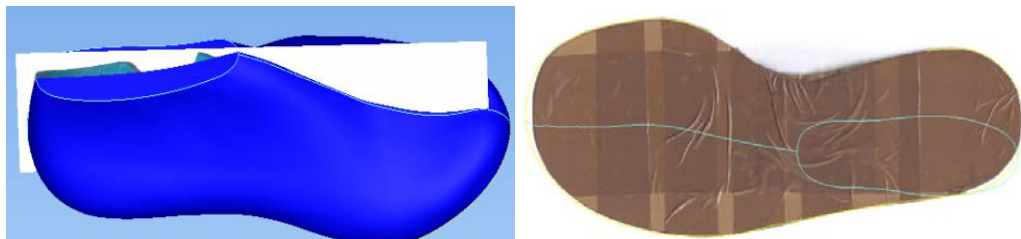


Рис. 4. Проектування колодки в програмі LastMaker на основі прототипу

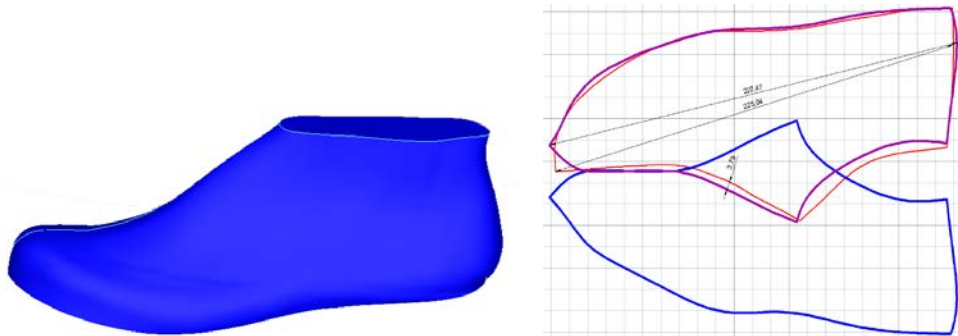


Рис. 5. Спроектвана колодка-цифрова копія та порівняння її розгортки і розгортки колодки-прототипу

Кінцевим результатом процесу є отримана цифрова копія прототипу, яку можна застосовувати не тільки для моделювання взуття в 3-d-просторі ShoeMaker, але й використовувати для подальшого проектування ґрунд-моделі.

На основі спроектованих в роботі колодок було розроблено асортиментний ряд взуття для підприємства, що спеціалізується на виробництві дитячого взуття. При цьому враховувався ряд вимог та рекомендацій нормативних документів:

1. Наявність супінатора, як ортопедичного елемента взуття;
2. Жорсткий фіксуючий п'ятку задник;
3. Еластична і гнучка підошва;
4. Широкий і округлий носок;
5. Зручна широка халява;
6. Зручні застібки (наприклад, «велькро»);
7. Маленький каблучок не більше 5-10 мм;
8. Легкість взуття;
9. Привабливий та виразний зовнішній вигляд.

Для зручності взуття в носінні повинні бути також обов'язково дотримані параметри конструкції верху взуття, які також тісно пов'язані з антропометричною будовою та особливостями роботи стопи при ходінні [7]. Для точної і правильної побудови конструктивних ліній в роботі використовували сітку ОДМО (рис.6), що добре себе зарекомендувала при просторовому проектуванні взуття на поверхні колодки [9].

Основні параметри сітки ОДМО:

$$ВпПс = 0.64 (Д_{урк} - П_{\phi})$$

$$ВПК = 0.52 (Д_{урк} - П_{\phi})$$

$$СБ = 0.75 (СН - П_{\phi})$$

де $Д_{урк}$ - довжина умовної розгортки колодки

$П_{\phi}$ - декоративний припуск в ділянці носка колодки

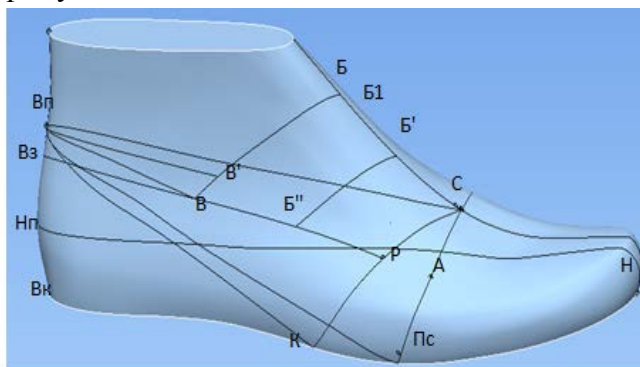


Рис. 6 Побудова сітки ОДМО для моделювання взуття на колодці в ShoeMaker

Проектування моделей взуття для дівчат та хлопчиків здійснювали в програмі Shoemaker на основі естетичних та функціональних вимог до дитячого взуття різного призначення та сезону, а також з врахуванням технічних умов виробництва (Рис. 7, 8).



Рис. 7. Розроблений весняно-літній асортимент дитячого взуття в Crispin ShoeMaker



Рис. 8. Розроблений осінньо-зимовий асортимент дитячого взуття в Crispin ShoeMaker

Висновки. Результати проведених масових антропометричних параметрів виявили невідповідність колодок, що використовуються на взуттєвих підприємствах, форморозмірам стоп українських дітей. У зв'язку з цим на підставі експериментальних даних в роботі були розроблені колодки в програмі LastMaker, які відповідають новим усередненим параметрам стоп українських дівчаток і хлопчиків 6-7 років.

Для забезпечення можливості побудови цифрової копії взуттєвої колодки за відсутності спеціалізованого 3d- сканера в роботі було розроблено методику відтворення цифрової копії колодки в середовищі Crispin LastMaker.

З урахуванням вимог, висунутих споживачами та діючими нормативними документами, у програмі Crispin ShoeMaker був розроблений асортимент дитячого взуття для хлопчиків і дівчаток 6-7 років.

Список використаної літератури

1. Орловський Б.В. CALS-технології об'єктно-орієнтованого проектування і виготовлення взуття на засадах програмного комплексу Delcam CRISPIN / Б.В. Орловський // – К.: Вісник КНУТД, –№1, –2012, –с.22–33.
2. Амосов Е.К. Новая методика создания эксклюзивной обуви / Е.К. Амосов // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – С-Пб, 2015. – С. 13-18.

3. Універсальний довідник взуттєвика., Навчальний посібник.- Київ Лібра 2005 рік – 720 стр. Коновал В.П., Гаркавенко С.С., Свістунова Л.Т.
4. Özgü Hafizoglu Özkan A research on footwear and foot interaction through anatomy and human engineering // A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology in Particular Fulfillment of the Requirements for the degree of Master of science in Industrial Product Design, Izmir, 2005. - 155 с.
5. Омельченко Н.Н. Исследование особенностей морфологии стоп детей 6-7 лет г. Киева/ Н.Н.Омельченко, В.Ф. Кернеш, В.П. Коновал // Международный сборник научных трудов [«Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг»]. – Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2013.-С.46-47.
6. A computer-aided design system for footfeature - based shoe last customization/ Shuping Xiong, Jianhui Zhao, Zuhua Jiang, Ming Dong // International journal of advanced manufacturing technology · january 2009, p. 11–19.
7. Моделирование и конструирование обуви и колодок Макарова В.С. – Москва, 1987 – 166 с.
8. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни: Інноваційні технології проектування виробів. Київ 2014 рік, Чертенко Л.П.
9. Павлік М.В., Чертенко Л.П., Кернеш В.П. Розробка асортименту дитячого взуття на основі антропометричних даних за допомогою Delcam Crispin: // Тезиси докладов Всеукраїнської науково-практичної конференції [«Проблеми легкої і текстильної промисловості України»] (Херсон, 22-24 октября 2014г.). - Херсон, ХНТУ, 2014 – С. 122-123.

Literature

1. Orlovskiy, B.V., (2012). CALS-tehnologii obiektno-orientovanogo proektuvannia i vyhotovlennia vzuttia na zasadakh programnogo kompleksu Delcam Crispin [The CALS-technologies of object-oriented footwear design and manufacture on the Delcam Crispin base]. Kyiv, KNUTD [in Ukrainian].;
2. Amosov, E.K. (2015) Novaia metodika sozdania eksklusivnoi obuvi [The new method of exclusive shoes creating]/ Sankt-Peterburg: SPNUTD.;
3. Konoval, V.P., Garkavenko, S.S., Svistunova, L.T., (2005). Universalnyi dovidnuk vzuttevyka., Navchalnyi posibnyk [Universal reference shoemaker., Textbook]. Kyiv Libra [in Ukrainian].;
4. Özgü Hafizoglu Özkan, (2005) A research on footwear and foot interaction through anatomy and human engineering / Izmir [in English]
5. Omelchenko, N.N., Kernesh, V.F., Konoval, V.P., (2013). Issledovania osobennostei morfologii stop detei 6-7 let g. Kiev [Study of the morphology of stop children 6-7 years of Kiev]. Shakhti:ISOiP (filial) DGTU [in Ukrainian].;
6. Shuping Xiong, Jianhui Zhao, Zuhua Jiang, Ming Dong (2009) A computer-aided design system for footfeature - based shoe last customization/ Hong Kong [in English].
7. Makarova, V.S., (1987). Modelirovanie i konstruirovanie obuvi i kolodok [Modelling and desing shoes and lasts]. Moscow.;
8. Chertenko, L.P., (2014). Metodychni rekomendatsii do vykonannia laboratornyh robit z dystsypliny: Innovatsiini tehnologii proektuvannia vurobiv [Guidelines for laboratory work on discipline: Innovative technology product design]. Kyiv [in Ukrainian].;
9. Pavlik, M.V., Chertenko, L.P., Kernesh, V.F., (2014). Rozrobka asortimentu dytiachogo vzuttia na osnovi antropometrychnykh danykh za dopomogoiu Delkam Crispin [Development assortment children shoes on of antropometria data with the help Delkam Crispin]. Kherson: KHNTU, [in Ukrainian].

РАЗРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДИЗАЙНА ДЕТСКОЙ ОБУВИ НА ОСНОВЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОЛОДОК В СРЕДЕ DELCAM CRISPIN

ПАВЛИК М.В., ЧЕРТЕНКО Л.П., КЕРНЕСИ В.П., ГАРКАВЕНКО С.С.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Разработка ассортимента детской обуви с учетом потребительских требований на основе рациональных колодок для девочек и мальчиков 6-7 лет в среде современных графических САПР обуви.

Методика. Методы исследований базируются на методиках антропометрических измерений стопы, способах проектирования формы и конструкций обуви на основе параметров стопы с использованием аналитических исследований существующих способов проектирования обувной колодки.

Результаты. Разработана методика проектирования детской колодки и конструктивной основы верха обуви в среде современных САПР обуви на основе антропометрических параметров стоп детей 6-7 лет; разработан актуальный ассортимент обуви для девочек и мальчиков с учетом антропометрических и эстетичных требований.

Научная новизна. Разработана методика проектирования рациональной колодки на основе антропометрических параметров стопы и на основе прототипа без 3-d сканера в среде специализированных САПР обуви.

Практическая значимость. Предложенная методика проектирования колодок в среде САПР обуви пригодна для реализации ее в условиях отечественных предприятий с целью получения новых форм колодок, которые отвечают антропометрическим и другим актуальным требованиям, и способствуют повышению уровня качества производимой обуви.

Ключевые слова: *колодка, антропометрические параметры, прототип, сетка ОДМО, УРК, САПР.*

RESEARCH OF THE DEVELOPMENT OF 3D DESIGN OF CHILDREN FOOTWEAR ON RATIONAL LASTS BASIS IN DELCAM CRISPIN ENVIRONMENT

PAVLIK M., CHERTENKO L., KERNESH V., GARKAVENKO S.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

The objective. The development of children's footwear assortment on the basis of rational lasts for 6-7-year-old boys and girls in the environment of the modern graphic CAD of footwear with taking into account the requirements of customers.

Methodology. The method of research is based on the methodologies of anthropometrical foot measuring, the methods of designing the shape and construction of footwear on the basis of the parameters of foot with the application analytical research of the existing methods of designing a last.

The results. The methodology of designing a last as well as of construction basis of the upper part of shoes in the environment of modern CAD on the basis of anthropometrical parameters of feet of 6-7 year-old children have been developed; the modern assortment of footwear for boys and girls has been developed with taking into consideration the anthropometrical and aesthetic requirements.

Scientific novelty. The methodology of designing the rational last on the basis of anthropometrical parameters of foot and of the prototype without 3-d scanner in the environment of specialized CAD of footwear has been developed.

Practical significance. The proposed methodology of designing the lasts in the environment of footwear CAD is suitable for realization in the conditions of domestic enterprises with the purpose of obtaining new lasts shapes which correspond to anthropometrical and other modern requirements and contribute to improvement of the produced footwear.

Keywords: *last, anthropometric parameters, prototype, last flattening, CAD.*

УДК 677.011.021.1

ТУЛУЧЕНКО Н.В., ЧУРСІНА Л.А.
Херсонський національний технічний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ М'ЯТТЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ СТЕБЕЛ СОЛОМИ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

Мета. Проведення аналізу процесів, що відбуваються при проминанні соломи льону олійного на м'яльному обладнанні різних марок та розроблення рекомендацій з його застосування.

Методика. Визначення фізико-механічних властивостей стебел соломи льону олійного до і після обробки на м'яльному обладнанні існуючих агрегатів здійснювалося за ГОСТ 28285-89 та ТУ 17У 00306710.079-2000. Для обробки отриманих експериментальних даних застосовані методи математичної статистики.

Результати. Експериментально визначені фізико-механічні показники до оброблення соломи та лубу льону олійного після різних способів м'яття. Після обробки на м'яльній машині агрегатів МТ-100-Л та КП-100-Л, щипальній машині ПП МФТВ "Екотекс" та м'яльній машині СМТ-200-М визначались фізико-механічні характеристики одержаного сирцю: вміст лубу, засміченість, розривне навантаження та середня масодовжина. Розраховано кількість механічних впливів на сировину у процесі переробки на м'яльних машинах м'яльно-тіпального агрегату МТ-100-Л та куделеприготувальної машини КП-100-Л. На основі порівняльного аналізу розрахованих механічних впливів на стебла соломи льону олійного та аналізу якості сирцю після перероблення на вищезазначеному обладнанні зроблено припущення, що стебла соломи льону олійного повинні бути перероблені на м'яльних машинах з меншою кількістю впливів через великі втрати волокон при інтенсивній обробці.

Наукова новизна. Теоретично доведена можливість отримання сирцю з максимальним вмістом волокна на м'яльці куделеприготувального агрегату КП-100-Л з стебел льону олійного.

Практична значимість. Результати досліджень дозволять удосконалити технологію переробки стебел соломи льону олійного.

Ключові слова: льон олійний, якість лубу, м'яльна машина, сирець, вміст волокна.

Вступ. Основним фактором конкурентоспроможності готової продукції, зокрема нетканих матеріалів, є співвідношення між якістю готової продукції та її вартістю. Ціна товару завжди залежить від його якісних показників. Тому контроль якості вирощеної сировини та моніторинг її якісних показників у процесі переробки є традиційно актуальними питаннями у переробній галузі.

У роботі [1] авторами проведена попередня оцінка фізичних властивостей льону олійного врожаю 2015 року, вирощеного у південному регіоні України. Першим етапом первинної переробки цієї сировини є отримання сирцю на м'яльній машині. Для обґрунтування технологічних параметрів на основі виконаних досліджень вченими ХНТУ визначені критеріальні показники якості волокон льону олійного для виробництва нетканих матеріалів [2]. Тому вибір м'яльного обладнання для одержання сирцю з визначеними характеристиками є важливим завданням у формуванні якісних показників одержаної пром'ятої сировини.

Постановка завдання. Для вирішення цього завдання в роботі проведене систематичне дослідження різних механічних впливів на процес одержання сирцю згідно з алгоритмом дослідження (рис. 1).

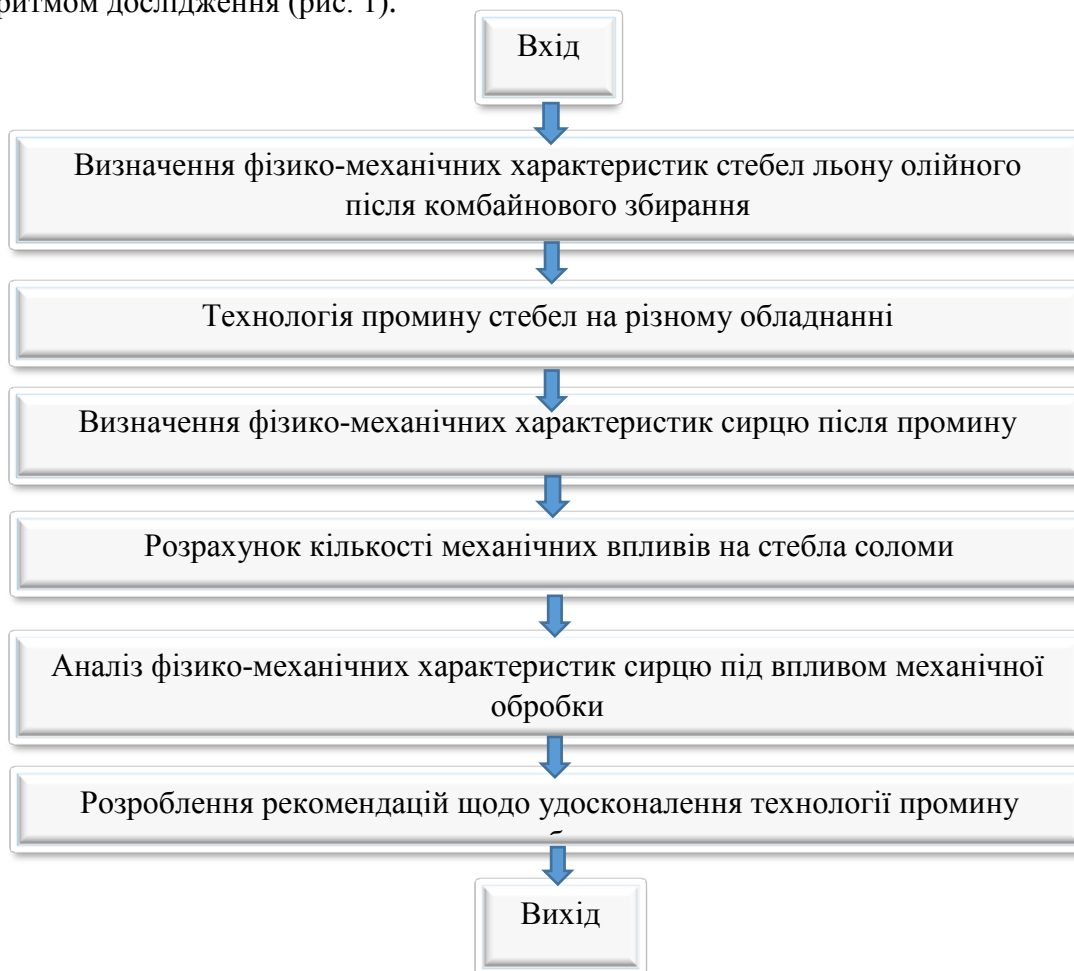


Рис. 1. Алгоритм проведення досліджень з удосконалення процесу промину стебел соломи льону олійного після комбайнового збирання

Для досягнення обґрунтованого результату досліджень також необхідно проаналізувати процеси, що відбуваються при проминанні цієї сировини на відповідному обладнанні, та різний вміст лубу у сирці при переробці однакової сировини на машинах різних марок. Для цього провести дослідження із зміни фізико-механічних характеристик лубу під впливом різної інтенсивності промину та запропонувати удосконалення технології процесу м'яття для підвищення вмісту волокнистої частини у переробленій сировині.

Результати дослідження. На основі одержаних експериментальних даних визначені основні технічні характеристики соломи льону олійного сорту "Айсберг" (табл. 1). Якість соломи аналізували на лабораторному обладнанні в лабораторії луб'яних волокон кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету [1]. Вихідні фізико-механічні характеристики по *ГОСТ 28285-89* [3] наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Вихідні фізико-механічні характеристики стебел льняної соломи

Тип сировини	Фактична вологість, %	Середній вміст лубу, %	Колір соломи	Розривне навантаження, даН	Засміченість, %
Солома машинного збору сорту "Айсберг" (с. Зелене, Миколаївська область)	8,1	19,0	II група	14,85	7,6

Сировина з вищевказаними характеристиками перероблялась на обладнанні різних типів в умовах підприємств ПП МФТВ "Екотекс" та лабораторії кафедри ХНТУ. При аналізі якісного вмісту лубу за ТУ 17У 00306710.079-2000 [4] після переробки на щипальній машині у виробничих умовах "Екотекс", м'яльній машині м'яльно-тіпального агрегату МТ-100-Л, м'яльній машині СМТ-100-Л встановлено, що на прохідному розрихлювачі вміст лубу у сирці значно знижений (табл. 2).

Таблиця 2.

Вміст лубу у сирці після промину на м'яльному обладнанні

Обладнання	Лабораторна м'ялка ЛМ-3	М'яльна машина куделеприготувального агрегату КП-100-Л	М'яльна машина м'яльно-тіпального агрегату МТ-100-Л	М'яльна машина СМТ-200-М	Щипальна машина ПП МФТВ "Екотекс"
Вміст лубу, %	19	12,09	8,03	7,0	5,58

Для розробки рекомендацій щодо застосування певних режимів промину необхідно з'ясувати причину втрати волокна у сирці після переробки соломи льону на м'яльних машинах та знайти шляхи підвищення вмісту волокнистої частини у переробленій сировині. Після вивчення вмісту та довжини волокон у лубі (рис. 2) було встановлено, що за довжиною волокна у соломі льону олійного неоднорідні, а міцність коротких волокон після переробки на м'яльному обладнанні існуючих агрегатів є низькою. Стає зрозумілим, що причиною втрати значної кількості коротких волокон після процесу м'яття на різних м'яльних машинах є просипання волокна з костою під час її видалення. Це досягається завдяки значному вигину-зламу стебел та подрібненню лубу (табл. 2) до волокна довжиною 30-59 мм [2]. Ось чому необхідна більш делікатна обробка соломи, що забезпечить високий вихід волокна. Таку обробку може забезпечити м'яльна частина куделеприготувальної машини КП-100-Л, що застосовується для переробки відходів тіпання.

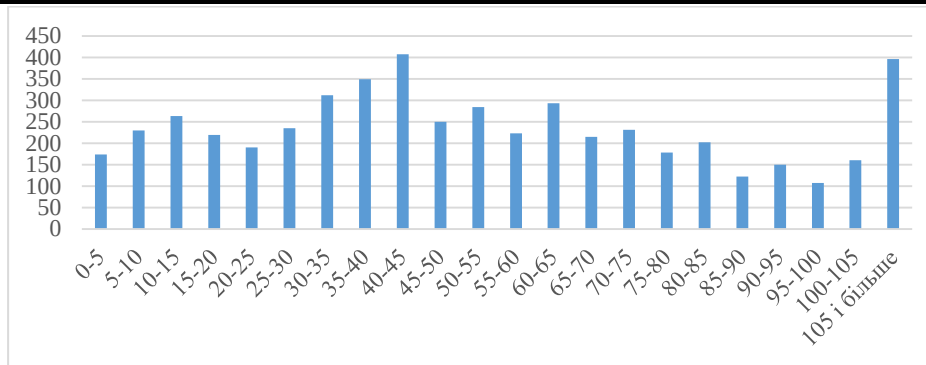


Рис. 2. Розподіл волокон льону олійного за довжиною

Для підтвердження припущення розрахуємо загальну кількість рифлів, які знаходяться в полі м'яття м'ялок м'яльно-тіпального агрегату МТ-100-Л та куделеприготувальної машини КП-100-Л на соломі льону олійного. Це значення дорівнює сумі впливів рифлів усіх пар вальців машини. У вищезазначених машинах є вальці прямого та гвинтового рифлення. Число впливів залежить від глибини заходження, кроку рифлів та діаметра вальців [2].

Кількість рифлів, які впливають при проминанні стебел, для вальців прямого рифлення [5]:

$$z_m = N \cdot z \cdot \arccos\left(1 - \frac{i}{D}\right) / 90, \quad (1)$$

де N – кількість однотипних пар вальців;

z – число рифлів вальців;

i – глибина заходження рифлів;

D – діаметр вальців.

Для вальців гвинтового рифлення вздовж утворюючої циліндра (кут підйому гвинта 18°):

$$z_\phi = N \cdot 2 \cdot l_\phi / t_\phi, \quad (2)$$

де N – кількість однотипних пар вальців;

l_ϕ – ширина поля м'яття (вважатимемо, що вона максимальна і дорівнює робочій довжині вальців);

t_ϕ – шаг рифлів.

Результати розрахунків за формулами (1-2) наведені у табл. 3.

Загальна кількість впливів м'яльної частини куделеприготувальної машини КП-100-Л більша за рахунок більшої кількості пар вальців. Це означає, що сировина перероблюється ретельніше, аніж на наведеному вище обладнанні. Проте завдяки меншій (більш ніж у два рази) швидкості обертання вальців [2] з меншою кількістю рифлів на КП-100-Л знижуються сили натягу в матеріалі, тому вигин-злам соломи не провокує значне подрібнення волокон.

Таблиця 3.

Кількість механічних впливів на стебла солом льону олійного на різних м'яльних машинах

Тип м'яльної машини	Кількість механічних впливів, шт
Лабораторна м'ялка ЛМ-3	150
М'яльна машина куделеприготувального агрегату КП-100-Л	318
М'яльна машина м'яльно-тіпального агрегату МТ-100-Л	355
М'яльна машина СМТ-200-М	749
Прохідний розрихлювач ПП МФТВ "Екотекс"	1141

Результати дослідження із зміни фізико-механічних характеристик лубу під впливом різної інтенсивності промину (табл. 4) підтверджують припущення щодо доцільності переробки на м'яльній машині куделеприготувального агрегату. Отримані найкращі результати за усіма показниками, порівнюючи з промисловою переробкою на іншому зазначеному обладнанні. Ці значення є найбільш наближеними до експериментальних результатів, що отримані у лабораторії луб'яних волокон кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету.

Таблиця 4.

Залежність фізико-механічних характеристик лубу, одержаних після процесу м'яття на машинах різного типу, від інтенсивності обробки

Тип м'яльної машини	Кількість впливів, шт	Фізико-механічні характеристики лубу			
		Вміст лубу, %	Засміченість, %	Розривне навантаження, даН	Масодовжина, мм
Лабораторна м'ялка ЛМ-3	150	19	19,7	14,85	44
М'яльна машина куделеприготувального агрегату КП-100-Л	318	12,09	40,53	13,95	39
М'яльна машина м'яльно-тіпального агрегату МТ-100-Л	355	8,03	64,54	12,1	31
М'яльна машина СМТ-200-М	749	7,0	84,35	11,5	28
Прохідний розрихлювач ПП МФТВ "Екотекс"	1141	5,58	94,42	10,35	22

За допомогою методу найменших квадратів отримані аналітичні залежності (рис. 3-6) на основі експериментальних даних. Усі залежності, крім третьої, є дробово-раціональними функціями. Залежність розривного навантаження від кількості впливів є лінійною (табл. 6).

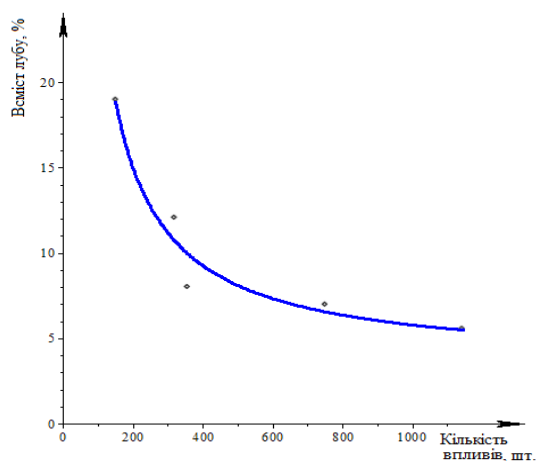


Рис. 3. Залежність вмісту лубу від кількості впливів

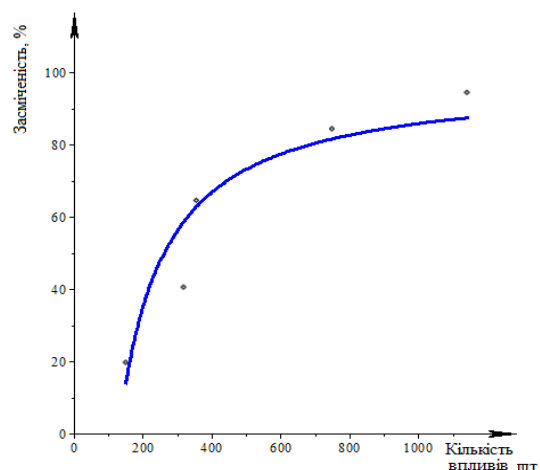


Рис. 4. Залежність засміченості сирцю від кількості впливів

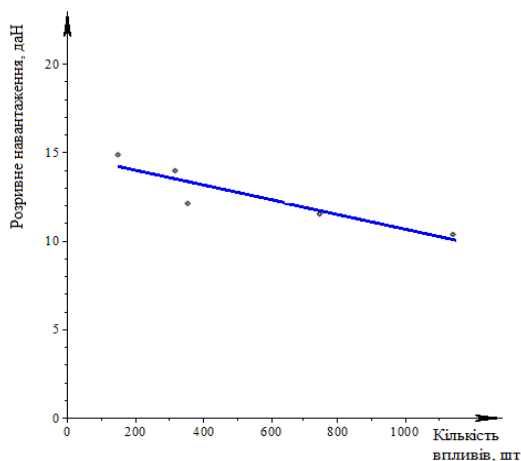


Рис. 5. Залежність розривного навантаження лубу від кількості впливів

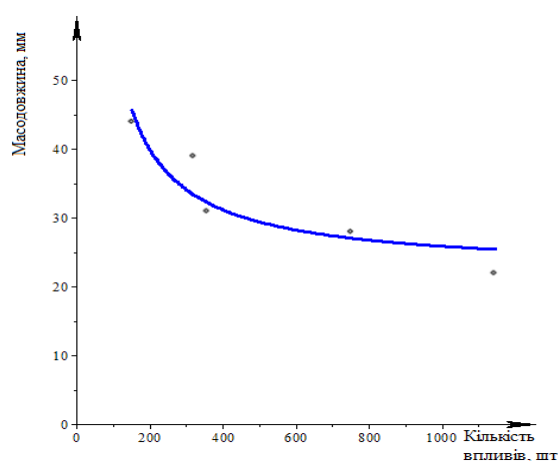


Рис. 6. Залежність масодовжини лубу від кількості впливів

Таблиця 6.
Аналітичні залежності фізико-механічних характеристик лубу від кількості впливів

Залежність фізико-механічного показнику від кількості впливів	Рівняння залежності
Вміст лубу	$f(x) = \frac{2315,18}{x} + 3,46$
Засміченість сирцю	$f(x) = \frac{12752,44}{x} + 98,55$
Розривне навантаження	$f(x) = -0,004 \cdot x + 14,81$
Масодовжина лубу	$f(x) = \frac{3524,35}{x} + 22,33$

За графіками отриманих залежностей очевидно, що подальше нарощування кількості впливів є недоцільним, оскільки функції мають горизонтальні асимптоти (тобто обмежені зверху або знизу), коли кількість впливів прямує до нескінченності. Отримані залежності показують, що найкращі характеристики лубу мають місце коли кількість впливів є найменшою, тобто для обробки соломи льону олійного доцільно застосовувати проминання

стебел з меншою інтенсивністю, що може забезпечити м'яльні машини куделеприготувальних агрегатів.

Висновки. У результаті проведених досліджень процесу м'яття стебел солом льону олійного доцільно використовувати м'яльні машини, які забезпечують меншу інтенсивність механічних впливів та їх довготривалість, для отримання максимальної кількості волокна у сирці. Перспективи подальших досліджень пов'язані з пошуками шляхів оптимізації роботи вищевказаного обладнання та розробкою апаратно-технологічної схеми переробки сирцю на неткані матеріали.

Список використаних джерел

1. Тулученко Н.В. Оцінка фізичних властивостей льону олійного врожаю 2015 року, вирощеного у південному регіоні України / Н.В. Тулученко, А.С. Тіхосов // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Шляхи розвитку стандартизації, сертифікації й оцінки якості товарів та послуг" (м. Херсон, 15-17 вересня 2015 р). — Херсон, 2015. — С. 64—68.
2. Головенко Т. М. Розроблення технології переробки стебел трести льону олійного з метою одержання нетканних матеріалів: дисертація канд. техн. наук: 05.18.02 / Головенко Тетяна Миколаївна. — Х., 2013. — 300 с.
3. ГОСТ 28285-89 Солома льняная. Требования при заготовках — Действующий с 01.07.1990; утвержден постановлением № 3083 Государственного комитета СССР по стандартам от 13 октября 1989; актуализация текста произведена 15.03.2008. — М. — 18 с.
4. ТУ 17 У 00306710.079-2000. Котонин из короткого льняного волокна. Технические условия — розр. проект БАТ ХБК; зареєстровано Херсонським ДЦСМС №101/000 783 від 01.08.2000 — Х. — 32 с.
5. Ипатов А.М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур / А.М. Ипатов // Москва: Легпромбытиздат. — 1989. — 144 с.

References

1. GOST 28285-89 Flax straw. Requirements for state purchases (2008, March 15) USSR State Committee by the standards [in Russian].
2. TU 17 U 00306710.079-2000. Cottonine of short flax fiber. Specifications (01.08.2000) Kherson DTSSMS [in Russian].
3. Tuluchenko, N.V. & Tihosov, A.S. (2015, September 15-17) Evaluation of physical properties of oil flax harvest 2015 grown in the southern region of Ukraine. Ways of development of standardization, certification and quality assessment of goods and services, p. 64-68 [in Ukrainian].
4. Golovenko, T. M. (2013) Development of processing technology stalks of oil flax straw to produce nonwovens. Thesis of candidate tech. Sciences. Kherson [in Ukrainian].
5. Ipatov, A.M. (1989). Theoretical basis of mechanical processing of fiber crops stalks. Moscow: Legprombytizdat [in Russian].

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Валько М.І.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МЯТЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СТЕБЛЕЙ СОЛОМЫ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

ТУЛУЧЕНКО Н.В., ЧУРСИНА Л.А.

Херсонский национальный технический университет

Цель. Анализ процессов, происходящих при проминания соломы льна масличного на мяльном оборудовании различных марок и разработка рекомендаций по его применению.

Методика. Определение физико-механических свойств стеблей соломы льна масличного до и после обработки на мяльном оборудовании существующих агрегатов осуществлялось по ГОСТ 28285-89 и ТУ 17В 00306710.079-2000. Для обработки полученных экспериментальных данных применены методы математической статистики.

Результаты. Экспериментально определены физико-механические показатели до обработки соломы и луба льна масличного после различных способов сминания. После обработки на мяльной машине агрегатов МТ-100-Л и КП-100-Л, щипальной машине ЧП МФТИ "Экотекс" и мяльной машине СМТ-200-М определялись физико-механические характеристики полученного сырца: содержание луба, засоренность, разрывная нагрузка и средняя масодлина. Рассчитано количество механических воздействий на сырье в процессе переработки на мяльных машинах мяльно-трепального агрегата МТ-100-Л и куделеприготовительной машины КП-100-Л. На основе сравнительного анализа рассчитанных механических воздействий на стебли соломы льна масличного и анализа качества сырца после переработки на вышеупомянутом оборудовании сделано предположение, что стебли соломы льна масличного должны быть переработаны на мяльных машинах с меньшим количеством воздействий из-за больших потерь волокон при интенсивной обработке.

Научная новизна. Теоретически доказана возможность получения сырца с максимальным содержанием волокна на мялке куделеприготовительного агрегата КП-100-Л из стеблей льна масличного.

Практическая значимость. Результаты исследований позволят усовершенствовать технологию переработки стеблей соломы льна масличного.

Ключевые слова: лен масличный, качество луба, мяльная машина, сырец, содержание волокна.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF SCUTCHING PROCESS FOR STRAW STALKS OF OIL FLAX

TULUCHENKO N.V., CHURSINA L. A.

Kherson National Technical University

Purpose. The aim of the article is the analysis of processes which occur when scutching linseed straw on scutching equipment of different brands and development of recommendations regarding its application.

Methodology. Determination of physical and mechanical properties of oil flax before and after processing on crumpling machines of existing aggregates in accordance with GOST 28285-89 [1] and GOST 10330-76 [2] was carried out. For the processing of the experimental data methods of mathematical statistics were used.

Findings. Physical and mechanical properties before processing of oil flax straw and bast after different ways of crumple are experimentally determined. After treatment on crumpling machine of aggregates MT-100-L and KP-100-L, willow PE MIPT "Ekoteks" and crumpling machine SMT-200-M are processed, the physical and mechanical characteristics of the resulting adobe (bast content, contamination, average, breaking load, bulk-length) are determined. The amount of mechanical influences on raw materials during processing on crumpling machines of crumple-scutching aggregate MT-100-L and towpreparing aggregate KP-100-L are calculated. Based on comparative analysis of calculated mechanical influences on stalks of oil flax straw and adobe quality analysis after processing at the aforementioned equipment has been suggested that the stalks of straw flax must be processed in crumpling machines with a smaller number of influences due to large losses of fibers during intensive treatment.

Originality. In theory, the possibility of obtaining an adobe with a maximum fiber content on scutching machine of towpreparing aggregate KP-100-L from stems of oil flax is proved.

Practical value. The research results will help to optimize the processing technology stems of oil flax straw.

Keywords: oil flax, quality of bast, crumpling machine, adobe, fiber content.

УДК 620.179.14

СЕБКО В.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Київський національний університет технологій та дизайну

ЗДОРЕНКО В.Г.

МЕТОД НЕРУЙНИВНОГО КОНТРОЛЮ ЗРАЗКА ВОДНОГО РОЗЧИНУ АДІПІНОВОЇ КИСЛОТИ

Мета. Розробка методу неруйнівного технологічного контролю електричних та температурних параметрів немагнітних розчинів хімічних речовин, зокрема, адипінової кислоти, за допомогою контактного вихорострумowego перетворювача (КВП).

Методика. Використана методика визначення залежності нормованого сигналу КВП від фізико-механічних параметрів проби адипінової кислоти.

Результати. Проведені теоретичні дослідження показали можливість визначення параметрів розчинів немагнітних хімічних речовин за допомогою КВП. Отримані теоретичні залежності, які зв'язують електричні параметри КВП з температурними та технологічними параметрами немагнітних хімічних розчинів, зокрема адипінової кислоти. Результати проведених експериментальних досліджень підтвердили можливість та доцільність застосування КВП для контролю параметрів немагнітних хімічних речовин.

Наукова новизна. Теоретично обґрунтована можливість застосування КВП для неруйнівного технологічного контролю параметрів водних розчинів немагнітних хімічних речовин, отримані універсальні функції перетворення.

Практична значимість. Запропонована методика контролю характеристик зразків кислот та їх розчинів, дозволяє здійснювати оцінювання метрологічних характеристик перетворювачів, роботу яких засновано на зондуванні зразків поперечним магнітним полем, тобто оцінювати частотний діапазон, діапазони зміни сигналів КВП, які відповідають діапазонам зміни електричних та температурних характеристик виробів, матеріалів та середовищ, що контролюються.

Ключові слова: контактний вихорострумовой перетворювач, неруйнівний контроль, електричні та температурні параметри, адипінова кислота

Вступ. Кислоти є одними з найважливіших речовин у сучасній хімічній та харчовій промисловості. У більшості випадків харчові кислоти (оцтова, лимонна, бензойна, винна, щавлева) використовують як консерванти — речовини, які сповільнюють псування харчових продуктів. У важливих технологічних процесах виробництва продуктів харчової та хімічної промисловості особливе місце займають карбонові кислоти [1, 2].

Наприклад, використання адипінової кислоти є необхідним у таких процесах, як виробництво полігексаметиленадипинамида, а також поліуретанів та ефірів, розчини адипінової кислоти використовуються як харчові добавки для надання продуктам кислого смаку (у тому числі при виробництві безалкогольних напоїв Е 355), їх застосовують під час створення миючих препаратів, при виготовленні рідини для видалення накипу, концентрована адипінова кислота застосовується для видалення матеріалу, який залишився після заповнення швів між керамічними плитами та у багатьох інших випадках. Адипінова кислота має здатність захищати продукти харчування від псування, а також процесів окислення [1,2]. Слід визначити, що при використанні розчинів цієї речовини у

різноманітних технологічних процесах, необхідна інформація стосовно електричних і температурних характеристик розчинів, які є важливими технологічними параметрами.

Таким чином, коло рішення майбутніх завдань суттєво розширюється та ускладнюється, створюючи важливу наукову та практичну проблему, яку пов'язано зі створенням контактних вихорострумових методів та пристроїв сумісного контролю електричних та температурних параметрів зразків кислот та їх розчинів, які зондуються поперечним магнітним полем контактних вихорострумових перетворювачів (КВП). Розробка та застосування цих методів та пристроїв дозволить підвищити точність вимірювання та вірогідність контролю цих параметрів.

Аналіз останніх публікацій по проблемі. На сьогодні відомі наукові роботи [3 - 10], у яких було описано теоретичні основи роботи контактного вихорострумового перетворювача (КВП) для контролю фізико-хімічних параметрів суцільних циліндричних і трубчастих металевих виробів, а також магнітних рідин і немагнітних газових середовищ. При цьому, циліндричний стрижень, по якому проходить повздовжній електричний струм і є контактним вихорострумовим перетворювачем, тобто КВП [3-8]. Суть роботи, КВП у загальному випадку полягає у тому, що при використанні відомих схем включення [3-8], визначають напругу на стрижні і фазовий кут між електричним струмом і цією ж напругою. Таким чином, пов'язане з варіацією частоти поля, змінення магнітного потоку в виробі, у свою чергу, призводить до змінення внутрішньої індуктивності стрижня L_i , а також його повного електричного опору R [3-8]. Слід визначити, що параметри L_i та R об'єкту, що контролюється, залежать від питомого електричного опору ρ , геометричних параметрів (радіусу, довжини), а також від температури t немагнітного стрижня. На теперішній час практично не було розроблено теоретичні основи роботи теплових КВП для контролю параметрів немагнітних хімічних речовин (перш за все, кислот), що не дозволяло застосовувати такі перетворювачі при проведенні технологічного контролю параметрів таких речовин.

Постановка завдання. Метою статті є розробка методу неруйнівного технологічного контролю електричних та температурних параметрів немагнітних розчинів хімічних речовин, зокрема, адипінової кислоти, за допомогою контактного вихорострумового перетворювача (КВП).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Отримати універсальні функції перетворення на основі яких розробити метод неруйнівного вимірювального контролю питомого електричного опору ρ_t і температури t 10% розчину адипінової кислоти.
2. Дослідити теоретичні положення роботи КВП зі зразком розчину немагнітної хімічної речовини (зокрема, адипінової кислоти).
3. Провести експериментальні дослідження для підтвердження теоретичних результатів.

Результати дослідження. В роботах [4, 5] було отримано універсальні функції перетворення $R_n = f(x)$ і $L_n = f(x)$ для КВП, за допомогою якого здійснювався контроль суцільних циліндричних стрижнів. В даній роботі було отримано експериментальні залежності $R_{nt} = f(x_t)$ та $L_{nt} = f(x_t)$ теплового вихорострумового КВП зі зразком розчину

адипінової кислоти, які наведено на рис. 1, 2. При цьому залежність на рис.1 має спадний вигляд, тому температурні точки на цієї залежності розташовані від кінця до початку залежності. Залежність на рис.2 має зростаючий вигляд і температурні точки відповідають значенням температур $t = 15^{\circ}; 20^{\circ}; 40^{\circ}; 60^{\circ}; 70^{\circ}$ С, які розташовані від початку до кінця залежності.

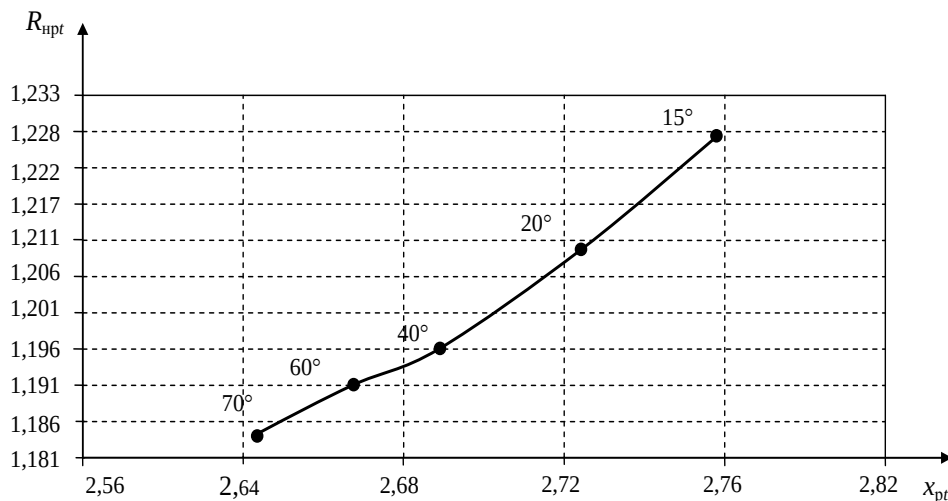


Рис. 1. Залежність $R_{нрт}$ від $x_{рт}$ теплового КВП зі зразком розчину адипінової кислоти

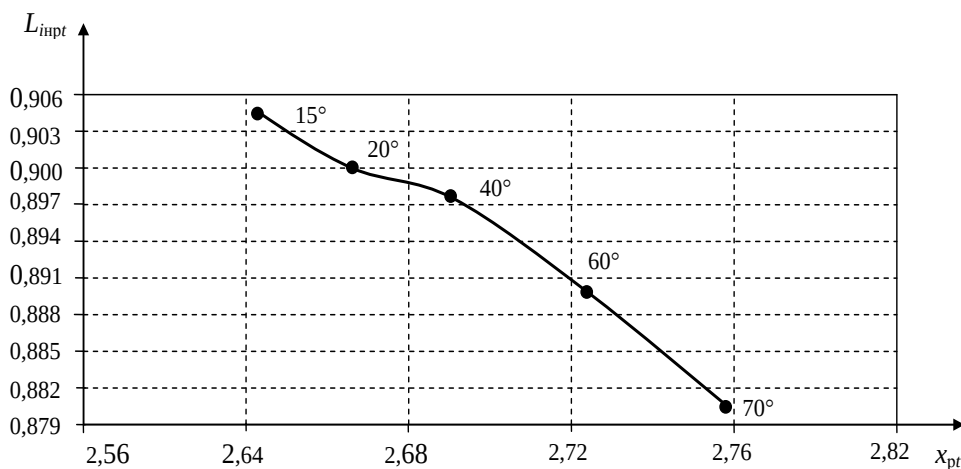


Рис. 2. Залежність $L_{нрт}$ від $x_{рт}$ теплового КВП зі зразком розчину адипінової кислоти

На рис. 3 надано функціональну схему включення КВП, на основі якої здійснюється контроль зразка розчину адипінової кислоти. У даному випадку скляна трубка, в якій знаходиться зразок адипінової кислоти і через яку пропускається поздовжній струм, представляє собою контактний вихорострумний перетворювач, тобто КВП. Схема включає: О – осцилограф, ДСН – джерело синусоїдальної напруги, ВЧ – вимірювач частоти, НП – нагрівальний пристрій, КВП – тепловий вихорострумний контактний перетворювач, R_3 – зразковий опір, V_1 і V_2 – вольтметри, С – самописець, ВФ – вимірювач фазового зсуву.

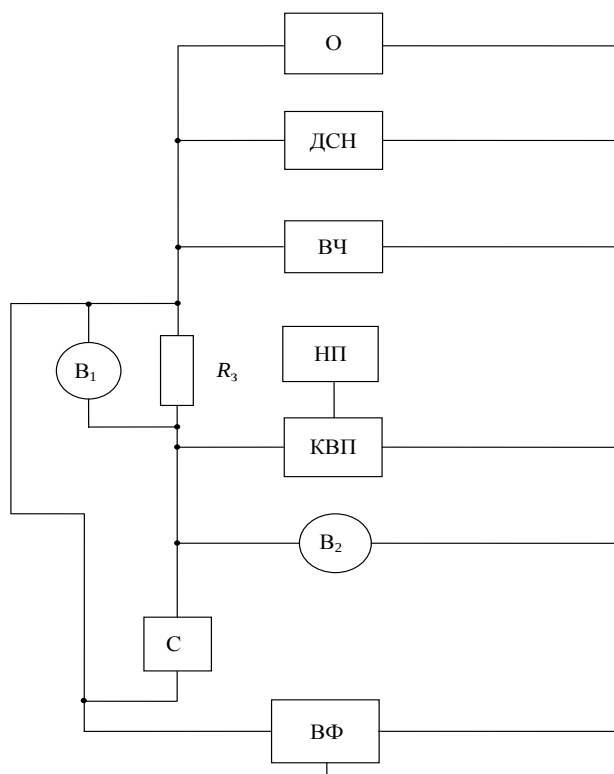


Рис. 3. Схема включення теплового КВП з досліджуваним зразком

Таким чином, з урахуванням результатів досліджень [4, 5], за допомогою схеми на рис. 3 вимірюється струм I_p , напруга U_{pi} , а також фазовий кут φ між током і цією напругою, а також визначається сумарна індуктивність зразка $L_{\Sigma p}$

$$L_{\Sigma pt} = \frac{U_p}{\omega I_p} \sin \varphi. \quad (2)$$

Після цього за допомогою, наприклад, моста постійного струму [4, 5], потрібно знайти опір R_{opt} розчину. Потім потрібно визначити нормований опір R_{npt} , використовуючи формулу [4 - 8]

$$R_{npt} = \frac{R_{pt}}{R_{p0}}. \quad (3)$$

Далі користуючись залежностями на рис. 1, потрібно визначити узагальнений параметр x_{pt} . А знаючи x_{pt} і використавши залежність на рис. 2, можна знайти нормовану внутрішню індуктивність L_{inpt} розчину адипінової кислоти з виразу [4 - 8]

$$L_{ipt} = \frac{\mu_0 l}{8\pi} L_{in}. \quad (4)$$

Далі, визначивши сумарну індуктивність розчину $L_{\Sigma pt}$, знайдемо зовнішню індуктивність

$$L_{ipt} = L_{\Sigma pt} - L_{ipt}. \quad (5)$$

Після цього отримуємо вираз для визначення питомого електричного опору розчину адипінової кислоти

$$\rho_t = \frac{\pi d^2 \cdot L_{ipp} \cdot \mu_0 \cdot f_t \cdot 8\pi}{\mu_0 \cdot l \cdot L_{inpt} (x_{pt}) \cdot 2x_{pt}^2}, \quad (6)$$

де d – діаметр скляної трубки;

l – довжина трубки;

f_t – частота теплового КВП;

x_{pt} – узагальнений магнітний параметр, який пов’язує сигнали теплового КВП з електричними і температурними параметрами зразка.

Тоді температуру зразка, що контролюється, знаходимо за формулою

$$t = \frac{1 + \alpha_\rho t_1}{\alpha_\rho} \left(\frac{\pi d^2 \cdot f_t \cdot \mu_0}{2x_{pt}^2 (R_{nt}) \cdot \rho_1} - 1 \right) + t_1, \quad (7)$$

де α – температурний коефіцієнт опору;

t_1 – початкова температура.

В табл.1 наведено отримані експериментальні залежності електричних параметрів зразка розчину адипінової кислоти R_{pn} та L_{ipn} від узагальненого параметра x_p , а також результати вимірювального контролю електричних та температурних параметрів досліджуваного зразка, що корелюють один з одним (під час зростання температурного параметра, електричний параметр також зростає).

Таблиця 1.

Результати досліджень зразка адипінової кислоти тепловим КВП

$\rho_t \cdot 10^{-2} (Ом \cdot м)$	x_p	R_{pn}	L_{pn}	$T, (K)$
0,208	2,54	1,185	0,909	285
0,213	2,56	1,191	0,906	288
0,220	2,58	1,196	0,904	293
0,224	2,60	1,201	0,901	298
0,232	2,62	1,206	0,899	303
0,237	2,64	1,211	0,896	308
0,240	2,66	1,217	0,893	313
0,245	2,68	1,222	0,891	318
0,251	2,70	1,228	0,888	323
0,258	2,72	1,233	0,885	328
0,262	2,74	1,239	0,883	333
0,267	2,82	1,262	0,872	338

Висновки. Визначено основні шляхи розв’язання важливої науково-практичної проблеми, яка полягає у рішенні комплексу задач пов’язаних зі створенням контактних вихорострумів методів та пристроїв сумісного контролю електричних і температурних параметрів зразків кислот та їх розчинів, які підлягають зондуванню поперечним магнітним полем КВП. В рамках рішення цієї проблеми було досліджено розширення функціональних і

технічних можливостей теплового контактного вихорострумового методу стосовно до вимірювального контролю параметрів зразків кислот та їх розчинів, а також визначення характеристик сигналів теплового КВП зі зразком розчину адипінової кислоти.

Перспективи подальших досліджень полягають в підвищенні точності вимірювань фізико-хімічних характеристик зразків рідинних середовищ, що контролюються, за рахунок застосування автоматизованих систем на базі первинних перетворювачів, які використовують зондування об'єктів контролю повздовжнім та поперечним магнітним полем.

Список використаних джерел

1. Дрюк В.Г., Малиновский М.С. Курс органической химии Киев: Вища школа 1987.- 380с.
2. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. - Пер. изд.: Великобритания, 1986. - 448 с. ISBN 5-7245-0191-0 Механизмы реакций в органической химии. Сайкс П. 4-е изд. — М.: «Химия», 1991 — 448 с.
3. Себко В.П., Львов С.Г. Расчет магнитной проницаемости и удельной электрической проводимости цилиндрических изделий по сигналам контактного электромагнитного преобразователя // Технічна електродинаміка. — Київ: Ін-т електродинаміки НАНУ. - 1998. — Вип. 2, Ч. 2. — С. 171-174.
4. Себко В.В. Контактный многопараметровый вихретоковый преобразователь на основе резистивно-индуктивного метода // Наукові праці III-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2002)". – Харків. - 2002. – С. 213-217.
5. Себко В.В. Контактный электромагнитный метод определения магнитной проницаемости, удельного электрического сопротивления и температуры цилиндрического изделия // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2002. – Вып. 7. - С.152–157.
6. Себко В.В. Определение электромагнитных параметров проводящих цилиндрических изделий контактным методом с учётом текущей температуры // Український метрологічний журнал. – Харків. - 2006. – Вип. 3. – С. 24-27.
7. Себко В.В. Исследование динамических характеристик контактного рабочего преобразователя КРП // Науковий журнал "Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації". – Східно-український національний університет імені В. Даля. – Луганськ: СНУ. – 2007.- № 2 (15). – С. 112 – 117.
8. Себко В.В. Определение параметров ферромагнитной жидкости с помощью контактного рабочего преобразователя КРП // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ". - 2006. Вип. 44. – С. 15-24.
9. Себко В.П., Багмет О.Л. Контактный вихретоковый преобразователь с квазипостоянным магнитным полем // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – Вип. №27. – С. 124 – 128.
10. Себко В.В., Себко В.П. Контроль трёх параметров ферромагнитных жидкостей тепловым контактным вихретоковым преобразователем // Український метрологічний журнал. – Харків. – 2010. – Вип. №1. – С. 14 – 18.

МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОБРАЗЦА ВОДНОГО РАСТВОРА АДИПИНОВОЙ КИСЛОТЫ

СЕБКО В.В.

Національний технічний університет «Харьковский политехнический институт»),

ЗДОРЕНКО В.Г.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Разработка метода неразрушающего технологического контроля электрических и температурных параметров немагнитных растворов химических веществ, в частности, адипиновой кислоты, с помощью контактного вихретокового преобразователя (КВП).

Методика. Использована методика определения зависимости нормированного сигнала КВП от физико-механических параметров пробы адипиновой кислоты.

Результаты. Проведенные теоретические исследования показали возможность определения электрических и температурных параметров растворов немагнитных химических веществ при помощи КВП. Получены теоретические зависимости, которые связывают электрические параметры КВП с температурными и технологическими параметрами немагнитных химических растворов, в частности, адипиновой кислоты. Результаты проведенных экспериментальных исследований подтвердили возможность и целесообразность применения КВП для контроля физико-механических параметров растворов немагнитных химических веществ.

Научная новизна. Теоретически обоснована возможность применения КВП для неразрушающего технологического контроля параметров растворов немагнитных химических веществ, получены универсальные функции преобразования.

Практическая значимость. Предложенная методика контроля характеристик образцов кислот и их растворов позволяет проводить оценку метрологических характеристик преобразователей, работа которых основана на зондировании образцов поперечным магнитным полем, то есть оценивать частотный диапазон, а также диапазоны изменения сигналов КВП, которые соответствуют диапазонам изменения электрических и температурных характеристик контролируемых изделий, материалов и сред.

Ключевые слова: контактный вихретоковый преобразователь, неразрушающий контроль, электрические и температурные параметры, адипиновая кислота.

METHOD OF NONDESTRUCTIVE CONTROL OF SAMPLE WATER SOLUTION ADIPIC ACID

SEBKO V.V.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,

ZDORENKO V.G.

Kiev National University of Technology and Design

Purpose. Development of a method of nondestructive control process of electrical and temperature parameters nonmagnetic solutions of chemicals, such as adipic acid, using a contact eddy-current converter (CEC).

Methodology. Used method of determining the dependence of the normalized signal CEC from the physical-mechanical properties of the sample of adipic acid.

Finding. The theoretical studies have shown the ability to determine the electrical and thermal parameters of the non-magnetic solutions of chemicals using a hovercraft. Theoretical relationships which connect the electrical parameters CEC with temperature and process parameters nonmagnetic chemical solutions, in particular adipic acid. The results of experimental studies confirmed the possibility and feasibility of the CEC to control the physical-mechanical properties of non-magnetic solutions of chemicals.

Originality. Theoretically proved the possibility of CEC for nondestructive process control parameters of the non-magnetic solutions of chemicals, obtained universal conversion function.

Practical value. The proposed method of control characteristics of acids and sample solutions allows to evaluate the metrological characteristics of converters, which are based on the sensing of patterns transverse magnetic field, that is to assess the frequency band, as well as ranges of CEC signals that correspond to the range of variation of the electrical and thermal characteristics of the controlled product, materials and media.

Keywords: contact eddy-current transducer, nondestructive testing, electrical and thermal parameters, adipic acid.

УДК 536.006

ХІМІЧЕВА Г.І. РОГОВІЩЕНКО В.М.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ТА
ІНСТРУМЕНТІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ
ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ
ЯКІСТЮ**

Мета. Визначення і обґрунтування механізмів та інструментів прийняття рішень в основу, яких покладено ідеологію TQM.

Методика. Методологічною основою досліджень є принципи та підходи TQM та методи систематизації і аналізу, що дали змогу проаналізувати існуючі механізми та інструменти прийняття рішень в умовах функціонування системи управління якістю.

Результати. Обґрунтовано та вибрано механізми і інструменти, які є найбільш доцільними для прийняття рішень в умовах функціонування системи управління якістю.

Наукова новизна. Доведено, що найбільш ефективним механізмом для прийняття рішень є комбінований метод, суть якого полягає в одночасному застосуванні методу QFD та методу «мозкового штурму». Такий підхід дозволяє адаптовано перетворювати швидкоплинні вимоги споживача до продукції в її параметри (показники).

Практична значимість. Запропоновано алгоритм, суть якого полягає в покроковому визначенні оцінки ступеня ефективності прийнятого рішення шляхом застосування механізмів і інструментів, побудованих на принципах TQM.

Ключеві слова: система управління якістю, механізми, інструменти, прийняття рішень, комбінований метод, покроковий алгоритм.

Вступ. Членство України в СОТ передбачає підвищення вимог з боку споживачів, як до рівня продукції, так і до забезпечення його стабільності. Вирішенням цього завдання в межах міжнародної організації зі стандартизації займається технічний комітет ISO/TK 176 «Менеджмент якості і забезпечення якості». Фахівцями цього комітету доведено, що для того щоб успішно управляти організацією і забезпечувати її ефективне функціонування, необхідно направляти і контролювати її діяльність систематично і відкрито. При цьому успіху можна досягти тільки за рахунок впровадження і актуалізації певної системи управління, зокрема побудованої на вимогах ДСТУ/ISO 9001, яка потенційно спрямована на поліпшення показників діяльності, з урахуванням вимог всіх зацікавлених сторін [1]. Особливо це важливо за умов прийняття і набуття чинності нової версії стандарту ISO 9001:2015, в основу якої покладено менеджмент ризику [2].

Однак, для результативного функціонування системи управління якістю (СУЯ) потрібні ефективні методи та засоби прийняття рішень, які дозволяють підвищити конкурентоспроможність продукції, що випускається підприємством. В практичному плані успіх функціонування системи управління якістю визначається не тільки правильно розробленою методологією її побудови і впровадження, але і технологією розроблення і впровадження механізмів та інструментів прийняття рішень стосовно діяльності підприємства в цілому.

Система управління якістю відноситься до категорії організаційно-технічних систем, які через складність і динамічність функціонують в умовах структурної і параметричної невизначеності. Останнє, як правило, виникає дискретно унаслідок раптової зміни умов

функціонування системи. Таким чином систему управління якістю логічно розглядати як систему з дискретними станами, індикатором якої є система збору і аналізу даних про якість, тобто стан СУЯ визначається структурованою сукупністю даних, які зафіксовані у конкретній момент на виходах процесів. В подальшому ця сукупність даних є передумовою і базою для прийняття рішень.

Постановка завдання. Одним із завдань результативного функціонування системи управління якістю є своєчасне прийняття управлінського рішення, яке побудоване на основі фактів [3]. Проте стан бізнес-процесу підприємства на який розповсюджується дія СУЯ, характеризується деякою безліччю регламентованих показників якості і визначається сукупністю внутрішніх (зв'язаних безпосередньо із СУЯ організації) і зовнішніх (пов'язаних з середовищем функціонування СУЯ організації) умов. Сукупність цих умов («зріз») у кожному конкретному випадку являє собою ситуацію, яка характеризується безліччю ознак (описом ситуації), що виступають як інформаційний вектор стану бізнес-процесу, який породжено даною ситуацією. При цьому ознаки, як правило, описуються параметрами (показниками), які можна вимірювати, обчислювати та оцінювати експертними методами.

В свою чергу зміна стану бізнес-процесу може привести до неможливості досягнення поставленої мети підприємства, тому вимагає оперативного втручання в процес і прийняття відповідного рішення. Для реалізації останнього потрібно застосовувати спеціальний інструментарій. Таким чином, метою даного дослідження є визначення і обґрунтування механізмів та інструментів прийняття рішень в основу, яких покладено ідеологією TQM, що добре корелюється з вимогами ДСТУ/ISO 9001 [4].

Результати досліджень. В ході досліджень було проаналізовано цілий ряд існуючих механізмів та інструментів прийняття рішень, які застосовуються в умовах функціонування системи управління якістю. Особлива увага приділялась концепціям TQM, SWOT, AQI, QFD застосування яких суттєво впливає на конкурентоспроможність, як продукції, так і підприємства в цілому [5]. При цьому за результатами досліджень можна стверджувати, що на сьогодні процесний підхід в сукупності з методами SWOT та QFD є одним із найбільш ефективних при прийнятті рішень. Зокрема, аналіз можливостей цих двох методів дозволив розробити алгоритм, суть якого полягає в покроковій оцінці ступеня ефективності прийнятого рішення. Алгоритм складається із п'яти етапів і працює наступним чином.

На першому етапі формується команда, яка складається із співробітників, які добре володіють найбільш повною інформацією про процеси, що потребують покращення, тенденції розвитку ринку та конкурентні переваги компаній-конкурентів. Для рішення цього завдання було запропоновано застосовувати методику SWOT – аналізу, яка відображає сильні та слабкі сторони компанії (підприємств) та дозволяє на їх основі визначити можливі реалізації переваг, розробити заходи по виправленню недоліків в роботі власної компанії, а також виявити загрози, які поглиблюються слабкими сторонами компанії. Механізм застосування матриці SWOT – аналізу наведено на рис. 1.

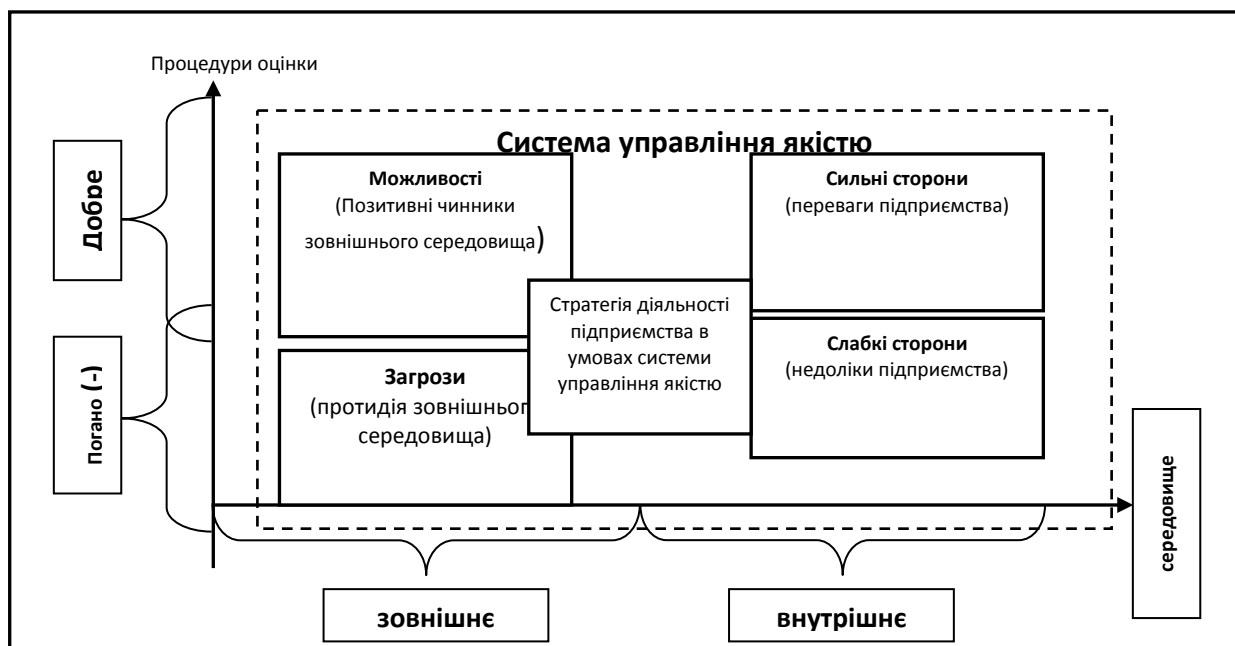


Рис.1. Механізми застосування матриці SWOT – аналізу для прийняття рішень в умовах функціонування СУЯ

За результатами досліджень до сильних сторін було віднесено: налагоджену систему поставок; усвідомлену необхідність впровадження процесного підходу до управління; благоприємний клімат в колективі та високий ступінь довіри співробітників до керівництва.

До можливостей відносимо: доставку продукції в короткі терміни; скорочення часових та фінансових витрат за рахунок впровадження процесного підходу до управління; зниження опору змінам під час впровадження процесного підходу (завдяки довірі співробітників).

До слабких сторін віднесемо: тривалий термін обслуговування клієнтів; неадекватність планів (прогнозів, продаж); відсутність стратегічного планування; пасивний маркетинг; високі витрати на реалізацію продукції.

До загроз віднесемо: втрату клієнтів внаслідок довгострокового обслуговування; зниження об'єму продаж внаслідок неефективного маркетингу; скорочення частки ринку внаслідок зростання ціни на продукцію.

На другому етапі проводиться обґрунтування цілей функціонування системи управління якістю. Для цього застосовується структурний метод, суть якого полягає у визначенні та обґрунтуванні процедур для підвищення якості і конкурентоспроможності продукції (рис. 2). Як видно з рисунку формування цілей суттєво впливає на пріоритетність процесів, що обумовлюють якість та конкурентоспроможність продукції, що виробляється.

На третьому етапі проводиться поділ процесів на основні та додаткові. В ході досліджень до основних процесів було віднесено процеси, які забезпечують управління процедурами. Далі визначається сукупність «входів» і «виходів» процесів, які потрібно постійно моніторити та приймати по ним управлінські рішення на основі фактів.

На четвертому етапі проводиться ранжування процесів, яке здійснюється шляхом визначення їх важливості для досягнення поставленої мети, а також ступеня їх проблемності. Оцінку важливості процесів проводять за допомогою метода визначення критичних чинників успіху (КЧУ) підприємства. Такий підхід надає можливість з'ясувати, які процеси вносять найбільший внесок в розвиток конкурентних переваг підприємства. Далі оцінюють ступень

їх проблемності з погляду їх бажаного і поточного стану і по кожному з них формують матрицю проблеми.

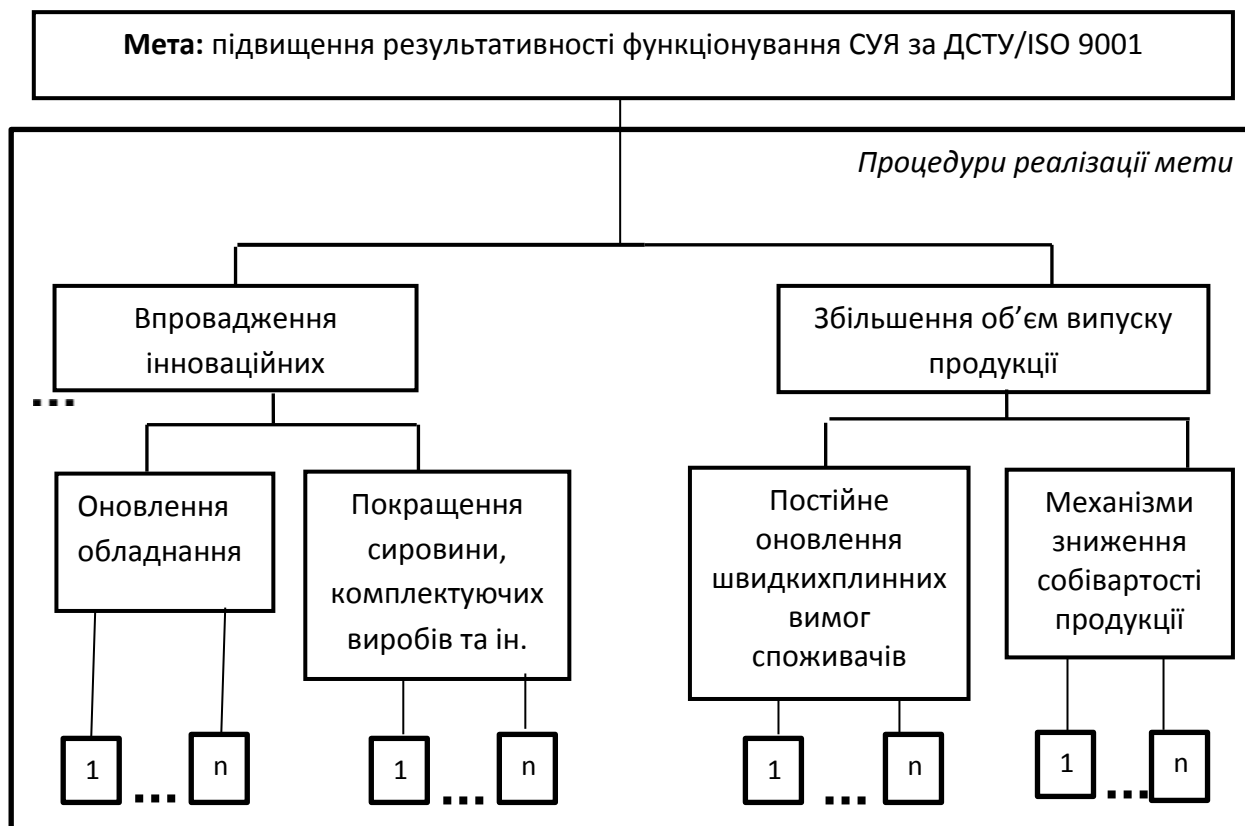


Рис. 2. Механізм впровадження методу «дерево мети»

На п'ятому етапі проводиться SWOT-аналіз перебігу процесів, який дозволяє виявити їх слабкі і сильні сторони, а також можливості поліпшення або погіршення. За результатами аналізу приймається рішення по розробці заходів стосовно усунення загроз і поліпшення процесу. В роботі для цього запропоновано використовувати комбінований механізм, який складається з двох методів (методу QFD та методу «мозкового штурму»). Такий підхід дозволяє перетворювати швидкоплинні вимоги споживача на відповідні вимоги виробника в процесі виготовлення продукції. Механізм застосування комбінованого методу наведено на рис. 3. В якості інструментарію для встановлення цільових значень комбінованого методу доцільно застосовувати «матрицю відповідностей», яка є одним із ефективних інструментів прийняття рішень, що застосовуються в будь-якій ситуації під час розроблення ідей при вирішенні проблем, зв'язаних з якістю, витратами та постачанням. Цей інструмент дозволяє аналізувати кількість даних, а також допомагає встановити та графічно проілюструвати логічні зв'язки між різними елементами (параметрами).

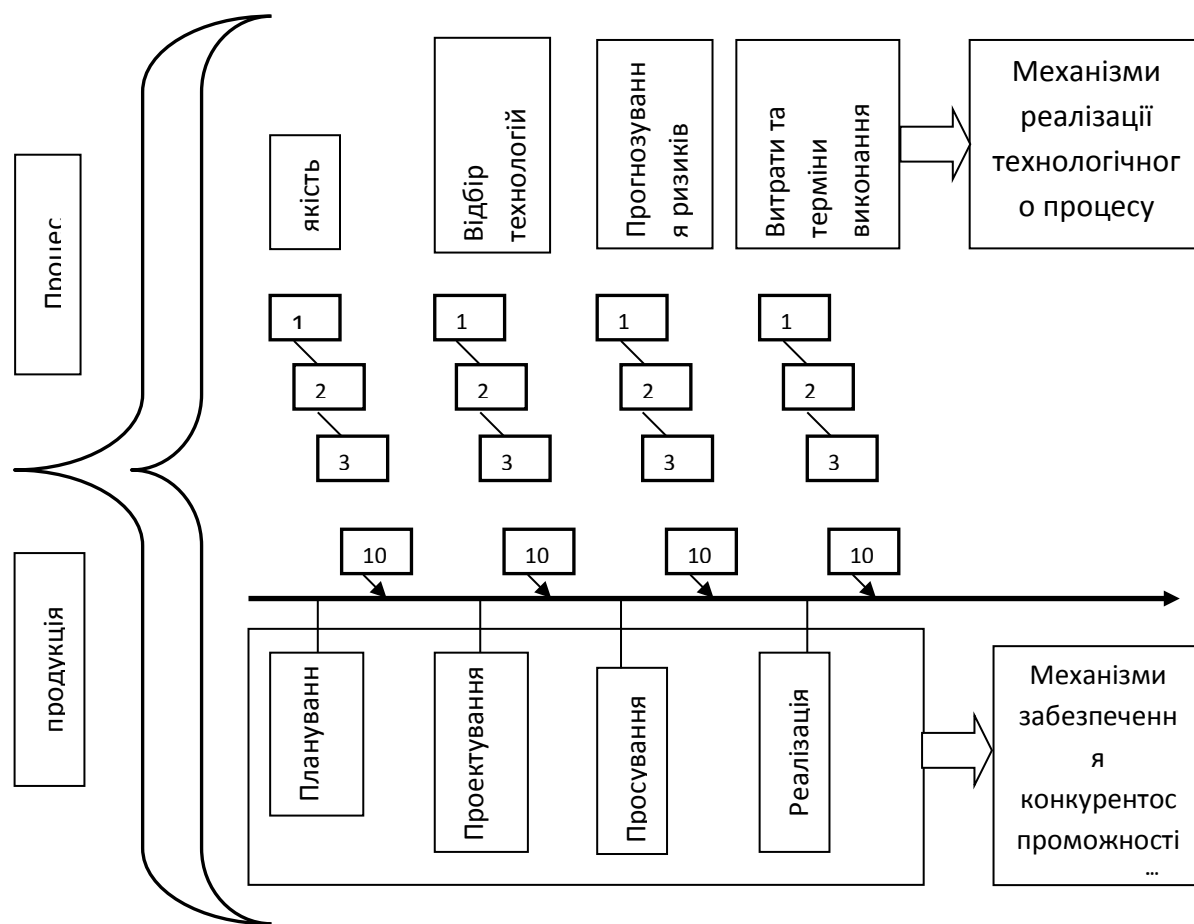


Рис. 3. Застосування комбінованого методу для прийняття рішень по поліпшенню процесів

Таким чином застосування запропонованого алгоритму прийняття рішень в умовах функціонування системи управління якістю дозволяє постійно поліпшувати процеси і тим самим сприяє забезпеченню стабільно високої якості і конкурентоспроможності продукції.

Висновки. Проведенні дослідження доводять, що найбільш ефективним механізмом та інструментом прийняття рішень в умовах функціонування систем управління якістю є комбінований метод, який дозволяє на основі фактів приймати ефективні рішення по поліпшенню виробничих процесів і тим самим забезпечує якість і конкурентоспроможності готової продукції на внутрішньому та зовнішньому ринку.

Список використаних джерел

1. Волков О.І., Віткін Л.М., Хімічева Г.І., Зенкін А.С., Системи якості вищих навчальних закладів: теорія та практика. – Київ. – Наукова думка, - 2006.
2. Хімічева Г.І., Сокотун Ж.В. Застосування стандартів ДСТУ/ISO 9001:2016 для побудови системи управління якістю ВНЗ. – ВІСНИК КНУТД №4 (88), серія «Технічні науки». – с. 138-145. ISBN.
3. Ковальов О.У., Зенкін А.С., Хімічева Г.І., Менеджмент функціонування підприємств – Хмельницький: ПП ЦЮПАК, 2010.-520 с., російською мовою.
4. ДСТУ ISO 9001:2009. Система управління якістю. Вимоги. – 2009. – 26 с.

5. Кане М.М., Иванов Б.В., Корешков В.Н., Схиртладзе А.Г. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: учебное пособие. – Спб.: Питер, 2008. – 560 с.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

ХИМИЧЕВА А.И. РОГОВЕНКО В.Н.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Выбор и обоснование механизмов и инструментов принятия решений в основу, которых положено идеологию TQM.

Методика. Методологической основой исследований являются принципы и подходы TQM, а также методы систематизации и анализа, которые позволили проанализировать существующие механизмы и инструменты принятия решений в условиях функционирования системы управления качеством.

Результаты. Научно-обосновано и выбрано механизмы и инструменты, которые наиболее целесообразно использовать для принятия решений в условиях функционирования системы управления качеством.

Научная новизна. Доказано, что наиболее эффективным механизмом для принятия решений является комбинированный метод, суть которого заключается в одновременном применении метода QFD и метода «мозгового штурма». Такой подход позволяет эффективно переводить быстроменяющиеся требования потребителя к продукции в ее параметры (показатели).

Практическая значимость. Предложен алгоритм, суть которого заключается в пошаговом определении оценки степени эффективности принятого решения путем применения механизмов и инструментов, построенных на принципах TQM.

Ключевые слова: система управления качеством, механизмы, инструменты, принятия решений, комбинированный метод, пошаговый алгоритм.

CHOICE AND JUSTIFICATION MECHANISMS AND TOOLS FOR DECISION-MAKING UNDER QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

HIMICHEVA G. ROHOVENKO V.

Kyiv National University of Technology and Design

Purpose. Identification and justification mechanisms and tools for decision-making basis, entrusted with the ideology of TQM.

Methods. The methodological basis of research is TQM principles, approaches, methods systematization and analysis that made it possible to analyze the existing mechanisms and instruments of decision making under quality management system.

Results. Scientific checking, mechanisms and tools that are most appropriate for decision-making under the quality management system.

Scientific innovation. It is proved that the most effective mechanism for decision-making is a combined method, the essence of which is the simultaneous application of QFD method and the method of "brainstorming." This approach allows us to turn adapted to the rapidly changing demands of the consumer products in its parameters (indicators).

The practical significance. The algorithm is to assess the degree of stepwise determining the efficiency of the decision through the use of mechanisms and tools built on the principles of TQM.

Key words: quality management system, mechanisms, tools, decision making, combined method, stepwise algorithm.

УДК 677-19.001.5

РЕЗАНОВА Н.М., САВЧЕНКО Б.М., КОРШУН А.В.
Київський національний університет технологій та дизайну
ДЗЮБЕНКО Л.С., САП'ЯНЕНКО О.О., ГОРБИК П.П.
Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка Національної академії наук
України

МОРФОЛОГІЯ НАНОНАПОВНЕНИХ СУМІШЕЙ ПОЛІПРОПІЛЕН/СПІВПОЛІАМІД

Мета. Дослідження впливу біфункціональних нанодобавок на процеси структуроутворення в розплавах сумішей поліпропілен/співполіамід (ПП/СПА).

Методика. Вивчення кінетики розпаду рідких струменів та розрахунок параметрів процесу здійснювали з використанням фундаментальних залежностей, які описують термодинамічну рівновагу в дисперсних системах. Процеси структуроутворення в екструдатах сумішей досліджували за допомогою мікроскопу шляхом визначення середнього діаметра мікрОВОЛОКОН і масової долі кожного типу структури.

Результати. Показана можливість регулювання морфології сумішей ПП/СПА за рахунок зниження величини міжфазного натягу в присутності нанодобавок срібло/кремнезем і срібло/глинозем. Встановлено зменшення середнього діаметра ПП мікрОВОЛОКОН та збільшення їх масової долі в нанонаповнених сумішах. Максимальний ефект досягається при введенні добавки на основі глинозему в кількості 0,5 мас. %.

Наукова новизна. Встановлено особливості процесів структуроутворення в сумішах ПП/СПА/нанодобавка, які обумовлені різною здатністю наночастинок впливати на спорідненість компонентів на межі поділу фаз.

Практична значимість. Використання біфункціональних нанодобавок надасть поліпропіленовим мікрОВОЛОКНАМ нові властивості як за рахунок наповнення, так і впливу на процеси структуроутворення при переробці модифікованих розплавів сумішей.

Ключові слова: суміші, нанодобавки, поверхневий натяг, структуроутворення.

Вступ. Фізико-механічні властивості сумішей полімерів та виробів із них визначаються, в першу чергу, термодинамічною сумісністю (взаєморозчинністю) або несумісністю їх компонентів. Як правило, полімери несумісні, а при їх змішуванні утворюються гетерофазні системи – дисперсії одного полімеру в матриці іншого. В залежності від в'язкості, еластичності та вмісту компонентів суміші полімер дисперсної фази може утворювати різні типи структур: краплі, циліндри, шари, мультиплетні дисперсії, взаємопроникні структури (сітки) або їх поєднання. Одним із дієвих шляхів, що дозволяє регулювати процеси структуроутворення, є забезпечення відповідного ступеню спорідненості компонентів на межі поділу фаз. Цього можна досягти вибором полімерів, між макромолекулами яких реалізуються специфічні взаємодії, або введенням спеціальних речовин – компатибілізаторів. Останні забезпечують зменшення міжфазної поверхневої енергії, сприяють тонкому диспергуванню компонента дисперсної фази, стабілізують полімерні дисперсії, запобігають процесу розділення компонентів та підвищують ступінь адгезивної взаємодії між фазами [1].

Постановка завдання. В останні роки встановлена компатибілізуюча дія нанонаповнювачів в полімерних дисперсіях. Значний вплив нанодобавок на властивості розплавів полімерів та сумішей обумовлений тим, що навколо наночастинок утворюється

міжфазний шар на межі поділу НЧ/полімер, властивості якого різко відрізняються від аналогічних характеристик розплаву в об'ємі [1]. Введення нанодобавок в розплав суміші полімерів дозволяє регулювати протяжність та властивості міжфазного перехідного шару [1-3]. Авторами [2] показано, що введення аеросилу в суміш поліуретан/полістирол приводить до росту долі міжфазної області та підвищення сумісності компонентів суміші. Регулювання розмірів мікрофібрил поліпропілену в матриці полієфіру досягнуто за рахунок введення у суміш добавок нанорозмірного оксиду титану [1]. Виконані нами дослідження щодо впливу вуглецевих нанотрубок і кремнеземів на процеси структуроутворення в сумішах поліпропілен/співполіамід показали, що використання твердих нанодобавок дозволяє регулювати волокноутворення ПП в матриці СПА [4,5].

Результати досліджень. Дослідження виконані на сумішах поліпропілен/співполіамід складу 30/70 мас. %, при цьому використовували ПП марки А-7 виробництва Лисичанського хімічного заводу та спирторозчинний СПА, властивості яких охарактеризовані в роботі [5]. Як нанодобавки вибрали біфункціональні речовини в наностані – срібло/кремнезем (Ag/SiO_2) та срібло/глинозем ($\text{Ag/Al}_2\text{O}_3$), характеристики яких наведені в табл. 1. Концентрація (С) Ag/SiO_2 і $\text{Ag/Al}_2\text{O}_3$ в сумішах складала (0,1÷3,0) мас. % від маси ПП.

Таблиця 1.

Характеристики нанодобавок

Назва	$S_{\text{пит}}$ основного оксиду, $\text{м}^2/\text{г}$	Розмір частинок, нм	Вміст Ag, $\text{мкг}/\text{м}^2$	$S_{\text{пит}}$ нанодобавки, $\text{м}^2/\text{г}$
Ag/SiO_2	320	17	16,3	296
$\text{Ag/Al}_2\text{O}_3$	145	1-20	9,5	134

Для синтезу добавок брали пірогенні кремнезем з питомою поверхнею ($S_{\text{пит}}$) $320 \text{ м}^2/\text{г}$ та глинозем з $S_{\text{пит}}$ $145 \text{ м}^2/\text{г}$ виробництва Калуського експериментального заводу. Методика одержання комбінованої добавки базується на відновленні глюкозою іонів Ag^+ , нанесених на поверхню частинок з водно-спиртового розчину нітрату срібла. Змішування полімерів та введення добавки здійснювали за допомогою комбінованого черв'ячно-дискового екструдера марки ЛГП-25. Кінетику розпаду струменів ПП (мікрОВОЛОКОН) в матриці СПА вивчали за допомогою мікроскопа, обладнаного нагрівальним столиком, на якому розміщували поздовжні зрізи екструдатів сумішей та фотографували різні стадії процесу руйнування струменів при нагріванні. З мікрофотографій визначали радіуси струменів (R) та відстань між центрами крапель (r), що утворилися. Одержані результати обробляли за класичною теорією Томотіки (Tomotika) та розраховували коефіцієнт нестабільності (q), час життя (розпаду) ($t_{\text{ж}}$), приведений час розпаду ($t_{\text{ж}}/R$) струменів та величину міжфазного натягу ($\gamma_{\alpha\beta}$). Процеси структуроутворення в екструдатах сумішей досліджували за допомогою мікроскопу МБД-15 – визначали розміри та кількість всіх типів структур у залишку ПП після екстракції матричного полімеру та розраховували середній діаметр мікрОВОЛОКОН (d) і масову долю кожного типу структури.

Відомо, що дисперсійне середовище при течії діє на дисперговану в ньому краплю з силою, яка зможе передатися краплі і деформувати її, якщо є достатня взаємодія між двома полімерами суміші в перехідному шарі. Із фундаментальних співвідношень, які описують

термодинамічну рівновагу в дисперсних системах, витікає, що найбільш дієвим фактором, який дозволяє регулювати параметри фазової структури, є спорідненість компонентів. Величина поверхневого натягу на межі поділу фаз є непрямою характеристикою ступеня сумісності полімерів. Компатибілізуюча дія нанодобавок в сумішах полімерів описана в ряді робіт і пояснюється підвищенням спорідненості між макромолекулами компонентів на межі поділу фаз [3-5]. Експериментальні результати щодо впливу нанодобавок срібло/кремнезем та срібло/глинозем на розпад рідких циліндрів поліпропілену в матриці СПА свідчать про їх суттєвий вплив на величини міжфазного натягу в усьому діапазоні досліджених концентрацій: $\gamma_{\alpha\beta}$ падає від 2,6 мН/м для вихідної суміші до 0,47 і 0,27 мН/м для сумішей, наповнених Ag/SiO₂ та Ag/Al₂O₃ відповідно (рис.1 а). При цьому ефект компатибілізації є функцією концентрації нанодобавок і стає максимальним за умови вмісту нанонаповнювача 0,5 мас. %. Подальше підвищення вмісту Ag/SiO₂ та Ag/Al₂O₃ призводить до збільшення величини міжфазного натягу. Екстремальний вид залежності $\gamma_{\alpha\beta} = f(C)$ має місце для сумішей модифікованих добавками компатибілізаторів. При досягненні критичної кількості компатибілізатор виділяється в окрему фазу, і його поверхнева активність зменшується [6]. Із рис. 1а видно, що ефективність нанодобавок залежить від їх хімічної природи: максимальне зниження $\gamma_{\alpha\beta}$ проявляється, коли в розплав суміші вводиться добавка на основі глинозему. Отриманий результат пов'язаний з тим, що в сумішах полімерів ефект компатибілізації визначається можливістю локалізації наночастинок на межі поділу фаз. При цьому вміст НЧ в міжфазній зоні тим вищий, чим більша різниця в полімерофільності (здатності змочувати) між компонентами суміші.

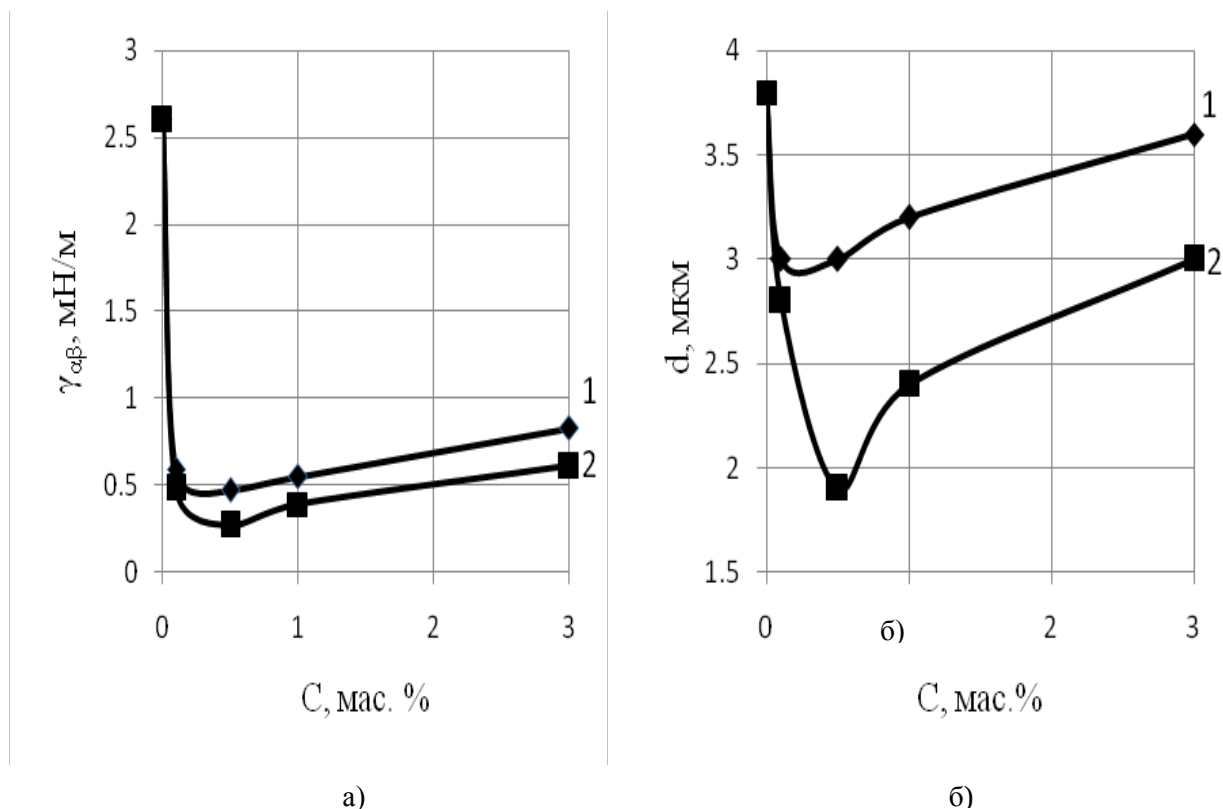


Рис. 1. Залежність величини міжфазного натягу (а) та середнього діаметра (б) ПП мікрроволокон від вмісту нанодобавки: 1 – Ag/SiO₂; 2 – Ag/Al₂O₃

Висока гідрофільність і полярність поверхні силікатів ускладнює їх взаємодію з неполярним поліпропіленом та сприяє виштовхуванню їх на межу поділу компонентів.

Аналіз даних кінетики розпаду струменів (мікроволокон) ПП показує, що при використанні нанонаповнювачів різної хімічної природи величини співвідношення радіусів крапель, які утворилися, та вихідного циліндра (r/R) є практично сталими і складають $1,6 \pm 1,7$ (табл.2).

Таблиця 2.

Характеристики кінетики розпаду ПП мікроволокон в матриці СПА

Нанодобавка		r/R	q	$t_{ж}, c$	$t_{ж}/ R$ с/мкм
назва	кількість, мас. %				
без добавок		1,7	0,0348	32,6	24,5
Ag/Al ₂ O ₃	0,1	1,6	0,0213	42,5	36,9
	0,5	1,7	0,0187	52,4	46,3
	1,0	1,7	0,0193	49,8	38,4
	3,0	1,7	0,0241	50,1	33,5
Ag/SiO ₂	0,1	1,6	0,0222	50,9	34,6
	0,5	1,6	0,0188	57,5	39,9
	1,0	1,7	0,0196	55,1	38,5
	3,0	1,7	0,0241	41,8	30,8

Це дозволяє зробити висновок про спільність механізму руйнування ПП мікроволокон у матриці СПА для вихідної і нанонаповнених сумішей.

Рідкий циліндр (струмінь) є термодинамічно нестійким та розпадається на краплі при виникненні на його поверхні збуджень хвильового характеру за умови, що амплітуда хвилі за величиною співпадає з радіусом струменя. Час розпаду (час життя) рідкого струменя прямо пропорційний діаметру вихідного циліндра і обернено пропорційний величині поверхневого натягу. Отже, за інших однакових умов, зниження величини міжфазного натягу забезпечить стабільність струменів менших діаметрів, тобто сприятиме утворенню більш тонких мікроволокон. Дані, наведені в табл. 2, підтверджують істотне зростання часу життя ($t_{ж}$) і приведенного часу життя ($t_{ж}/R$) поліпропіленових мікроволокон у нанонаповнених сумішах ПП/СПА та зменшення коефіцієнта нестабільності (q). Стабільність мікроволокон залежить від концентрації нанодобавок: приведений час розпаду максимальний, коли їх вміст складає 0,5 мас. %.

Відомо, що морфологія полімерних дисперсій може регулюватися за рахунок збільшення або зменшення міжфазного натягу між компонентами. Виконані кількісні дослідження залишків поліпропілену після екстракції співполіаміду із екструдатів вихідної та нанонаповнених сумішей показали, що введення біфункціональних нанодобавок в суміш ПП/СПА суттєво впливає на процеси структуроутворення полімеру дисперсної фази в матриці (рис.1 б, табл.3). Одержані результати свідчать про утворення різних типів структур ПП: мікроволокна, частинки, плівки, зовнішня тонковолониста оболонка. При цьому співвідношення між типами структур та діаметри мікроволокон залежать від концентрації біфункціональних нанодобавок та їх хімічної природи. Важливим чинником впливу наночастинок є зниження середнього діаметра мікроволокон, підвищення однорідності розподілу та збільшення їх загальної кількості.

Таблиця 3.

Вплив нанодобавок на мікроструктуру екструдатів сумішей ПП/СПА

Нанодобавка		Типи структур, мас. %				
назва	вміст, мас. %	безперервні волокна	короткі волокна	частинки	плівки	зовнішня оболонка
без добавок		85,1	12,9	0,1	1,0	0,9
Ag/Al ₂ O ₃	0,1	75,7	17,1	0,8	4,2	2,2
	0,5	90,5	3,3	0,9	3,0	2,3
	1,0	85,3	4,7	1,4	5,4	3,2
	3,0	91,2	4,5	1,1	1,9	1,3
Ag/SiO ₂	0,1	90,7	5,2	0,5	1,3	2,3
	0,5	91,5	6,6	0,3	1,0	0,6
	1,0	80,0	18,5	0,6	0,9	-
	3,0	83,1	15,1	0,8	1,0	-

Встановлено, що максимальний вплив добавок Ag/SiO₂ та Ag/Al₂O₃ на процеси структуроутворення має місце при концентраціях, за яких величини міжфазного натягу – мінімальні. Підвищення ступеню диспергування ПП в нанонаповнених сумішах пов'язано з тим, що зниження $\gamma_{\alpha\beta}$ на межі поділу фаз поліпропілен/співполіамід дозволяє зменшити затрати енергії на утворення нових поверхонь дисперсної фази, тобто полегшити диспергування ПП в матриці СПА.

Таким чином, виконані дослідження показали можливість регулювання процесів структуроутворення при течії розплавів сумішей поліпропілен/співполіамід за рахунок зміни концентрації та хімічної природи біфункціональних нанодобавок.

Висновок. Встановлено, що нанодобавки срібло/кремнезем і срібло/глинозем підвищують кінетичну стабільність дисперсії та знижують міжфазний натяг, що сприяє деформації крапель поліпропілену у рідкі струмені. Показано, що ефект компатибілізації є функцією концентрації нанодобавок і стає максимальним за умови їх вмісту 0,5 мас. %. Зниження коефіцієнта нестабільності та збільшення часу життя рідких струменів зумовлює покращення процесу волокноутворення ПП в матриці СПА: зменшується середній діаметр мікрОВОЛОКОН та зростає їх масова доля. Максимальний вплив на морфологію сумішей ПП/СПА проявляє нанодобавка на основі глинозему завдяки високій полярності наночастинок Ag/Al₂O₃ та локалізації на межі поділу фаз. Проведені дослідження підтвердили правильність і ефективність обраного методу модифікації розплавів сумішей полімерів.

Список використаних джерел

1. L.A.Utraki, C.A.Wilkie. Polymer blends handbook. London: Springer New York Heidelberg Dordrecht. – 2014. – 2373 p.
2. Косянчук Л.Ф., Яровая Н.В., Бабкина Н.В. Особенности теплофизического и вязкоупругого поведения сформированных in situ наполненных смесей линейных полиуретана и полистирола // Полімерний журнал. – 2013. – №4. – С. 362-368.
3. А.Е. Заикин, Т.Б. Бобров. Компатибилизация смесей несовместимых полимеров наполнением // Высокомолекул. соедин. – 2012. – Т. 54, №8. – С. 1275 – 1282.
4. Tsebrenko M. V., Rezanova V. G., Tsebrenko I. O. Polypropylene microfibers with filler in nano state // Chemistry & Chemical Technology. – 2010. – V.4, N3. – P.253-260.
5. Резанова Н.М., Мельник І.А., Цебренко І.О., Готфрід А.О., Цебренко М.В., Картель М.Т., Приходько Г.П. Вплив добавок компатибілізаторів на мікро- і макрореологічні властивості розплавів

сумішей поліпропілен /співполіамід/вуглецеві нанотрубки // Вісник КНУТД. – 2011. – №6. – С 134-139.

6. Ju M.-Y., Chang F.C. Compatibilization of PET/PS blends through SMA and PMPI dual compatibilizers // Polymer. – 2000. – Vol.41, N5. – P.1719-1730.

МОРФОЛОГИЯ НАНОПОЛНЕННЫХ СМЕСЕЙ ПОЛИПРОПИЛЕН/СОПОЛИАМИД

РЕЗАНОВА Н.М.¹, САВЧЕНКО Б.М.¹, КОРШУН А.В.¹

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна

ДЗЮБЕНКО Л.С.², САПЬЯНЕНКО А.А.², ГОРБИК П.П.²

²Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко Национальной академии наук Украины

Цель. Исследование влияния бифункциональных нанодобавок на процессы структурообразования в расплавах смесей полипропилен/сополиамид (ПП/СПА).

Методика. Изучение кинетики распада жидких струй и расчет параметров процесса осуществляли с использованием фундаментальных зависимостей, описывающих термодинамическое равновесие в дисперсных системах. Процессы структурообразования в экструдатах смесей исследовали с помощью микроскопа путем определения среднего диаметра микроволокон и массовой доли каждого типа структуры.

Результаты. Показана возможность регулирования морфологии смесей ПП/СПА за счет снижения величины межфазного натяжения в присутствии бифункциональных нанодобавок серебро/кремнезем и серебро/глинозем. Установлено уменьшение среднего диаметра ПП микроволокон и увеличение их массовой доли в нанонаполненных смесях. Максимальный эффект достигается при введении добавки на основе глинозема в количестве 0,5 мас. %.

Научная новизна. Установлены особенности процессов структурообразования в смесях ПП/СПА/нанодобавка, которые обусловлены разной способностью наночастиц влиять на средство компонентов на границе раздела фаз.

Практическая значимость. Использование бифункциональных нанодобавок обеспечит полипропиленовым микроволокнам новые свойства как за счет наполнения, так и влияния на процессы структурообразования при переработке модифицированных расплавов смесей.

Ключевые слова: смеси, нанодобавки, поверхностное натяжение, структурообразование.

MORPHOLOGY OF NANOFILLED BLENDS POLYPROPYLENE/COPOLYAMIDE

REZANOVA N.M.¹, SAVCHENKO B.M.¹, KORSHUN A.V.¹,

¹Kyiv National University of Technologies and Design

Dzubenko L.S.², Sapyanenko O.O.², Gorbyk P.P.²,

²Institute for Surface Chemistry of Chuiko O.O. National Academy of Sciences of Ukraine

Purpose. The influence of bifunctional nanoadditives on the processes of structure formation in melted blends of polypropylene/copolyamide (PP/CPA).

Methodology. Studying of liquid jets fracture kinetics and calculation of process parameters were performed by using fundamental dependences, which describes thermodynamic equilibrium in disperse systems. Structure formation processes in extrudate blends were studied by microscope by determining the average diameter of microfibers and mass fraction of each type of structure.

Findings. The possibility of regulating the morphology of PP/CPA blends by lowering the interfacial tension value in presence of nanoadditives of silver/silica and silver/alumina has shown. Reducing of the average PP microfibers diameter and increasing of their part in the nanofilled mixtures mass was established. The maximum effect have been achieved by the application of additive based on alumina in an amount of 0.5wt %.

Originality. Was defined peculiarities of the structure formation processes in PP/CPA/nano-additives mixtures, which were caused by different ability of nanoparticles affection on the compatibility of components on the interface.

Practical value. Using of bifunctional nanoadditives gives polypropylene microfibers new properties. This is achieved through nanofilling and influencing on the structure formation processes during modified melts blends processing.

Keywords: blends, nanoadditives, surface tension, structure formation.

УДК 7.012:891.001

ПАРАНЬКО Н.П., НІКОЛАЄВА Т.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ФОРМИ
УКРАЇНСЬКОГО НАРОДНОГО КОСТЮМА НА
ОСНОВІ АНАЛІЗУ ТВОРЧОЇ СПАДЩИНИ
ЕТНОГРАФА ДОМІНІКА ДЕ ЛЯ ФЛІЗА**

Мета. Визначення особливостей побудови комплексу українського народного костюма в замальовках 19 століття, виконаних французом Домініком Де ля Флізом, для використання їх в проектуванні сучасних форм одягу.

Методика. В роботі використано літературно-аналітичний та історіографічний аналіз наукових праць по вивченню структури та особливостей формування комплексу українського народного костюма, його колориту, орнаментики та оздоблення.

Результати. Проведені дослідження дають можливість визначення найбільш яскравих композиційних ознак побудови комплексу українського народного костюма: форми, колористичної гами, художніх властивостей матеріалів, орнаментики та засобів оздоблення.

Наукова новизна. Вперше представлено поглиблений аналіз вивчення форм та комплексів українського народного костюма на основі дослідження творчої спадщини видатного дослідника української народної культури Домініка П'єра Де ля Фліза.

Практична значимість. Представлених результатів досліджень полягає у можливості використання отриманих композиційних характеристик українського народного костюма в проектуванні сучасних колекцій одягу.

Ключові слова: український народний костюм, дослідники, описи, регіональні комплекси, етнографічні особливості, композиційні характеристики.

Вступ. Дослідженню питання композиційних властивостей комплексів народного костюма та різноманітності його декору було присвячено ряд наукових робіт: В.Г.Білозуба, В.Г.Заболотного, М.Т.Рильського, П.Одарченко, Г.Царинник, О.Пашак-Трач, Т.О.Ніколаєвої, О.Ю.Косминої, Т.Кара-Васильєвої, З.О.Васіної, Х.Вовка, Д.П.Кривавича, Г.Г.Стельмашука. Більш детально ці питання розглянуто в науковій праці В.Г.Білозуба, В.Г.Заболотного, М.Т.Рильського «Українське народне мистецтво – Вбрання», яка присвячена українському народному одягу 19-20 століття. При впорядкуванні цього альбому були широко використані експозиції і фонди: Київського державного музею українського мистецтва, Київського державного історичного музею, Інституту мистецтвознавства, фольклору та етнографії АН України, Центральної експериментальної лабораторії Управління художніх промислів України, Центрального будинку народної творчості, Львівського державного музею українського мистецтва, Українського державного музею етнографії і художнього промислу АН України у м. Львові, Харківського державного історичного музею і Державного музею етнографії. Авторами підкреслюється, що важливе місце серед багатьох видів народної творчості посідає мистецтво вбрання. В ньому найяскравіше проявляється провідна властивість народного декоративного мистецтва - вміння народних майстрів за допомогою простих логічних засобів органічно поєднувати утилітарність і красу [1].

Постановка завдання. Окремі предмети народного вбрання різних регіонів України історично збереглися в основному з 17 - 18 століття. Однак, про цілий комплекс костюма

можна судити головним чином з описів і замальовок художників. Значний обсяг матеріалу по вивченню українського народного вбрання 19 століття дають малюнки з історичного рукопису доктора медицини, дослідника народної української культури та побуту Домініка Де ля Фліза [2]. Українське народне вбрання, яке пройшло великий шлях еволюції, при всіх спільних рисах відзначається великою різноманітністю за періодами та регіонами. В альбомі «Українське народне мистецтво – Вбрання» розглянуто специфічні риси народного вбрання п'яти регіонів України: Середнього Подніпров'я, Поділля, Полісся, Півдня України, Карпат і Прикарпаття. В цих районах в силу історичних, економічних і географічних причин існували різні комплекси народного вбрання. В альбомі представлено детальний опис комплексів народного костюма Середнього Подніпров'я та Лівобережжя, Поділля, Полісся, Галичини, Покуття, Буковини, гірських районів Карпат, Закарпаття. В комплекси вбрання входили: одяг, головні убори, взуття, оздоблення, зачіски. На характер народного одягу впливали господарські і географічні умови. Підкреслено, що загальний колорит вбрання, особливо на Лівобережжі, був світлий, білий, збагачений яскравими кольорами вовняних плахт, поясів, вінків, намист та стрічок. Наведено опис верхнього одягу не тільки жіночого, а й чоловічого. Схематично описується крій деяких елементів комплексу народного вбрання, наприклад, сорочки чи керсетки, є порівняльна характеристика крою по регіонах України. В альбомі представлений опис деяких технік вишивки: вирізування, мережка, гладь. Проте, недостатньо представлені колористична гама і орнаменти, які використовувались для оздоблення одягу, в тому числі свит. Альбом супроводжується замальовками вбрання, причому використовується декілька ескізів Домініка Де ля Фліза. Авторами альбому зроблено висновок, що творче використання національної художньої спадщини дає великі можливості, спонукає для творчої інтерпретації народних форм одягу та застосування народного орнаментального декору: узорного ткацтва, вишивки та аплікації на предметах сучасного одягу. Тому значний інтерес для вдосконалення історії українського народного костюма та використання його елементів в сучасному одязі представляє дослідження творчих надбань Домініка Де ля Фліза, висновки стосовно його творчих замальовок і записів та їх аналіз.

Результати досліджень. Національне самоствердження українського народу відбувається шляхом відтворення історичної пам'яті, розвитку літературної мови, організації освітніх інституцій, осередків та установ. Визначне місце в процесі національного відродження посідає образотворче та декоративно-прикладне мистецтво, почесне місце в складі якого займає український народний одяг. Український народний костюм - це науковий термін, який затвердився в мистецтвознавстві в результаті вивчення народного вбрання, як художньо-образної системи, на відміну від етнографії, де традиційне вбрання українців розглядається як джерело вивчення історії та культури українського народу. Сучасна костюмознавча наука, яка базується на попередньому досвіді фундаментальних досліджень, набирає якісно нової спрямованості, щоб відповідати сучасним культурологічним вимогам [3]. Досліджуючи народний костюм треба враховувати те, що він був витвором матеріальної культури, але завдяки своїй символічній завантаженості (колористиці, орнаменталізації), одяг виконував функції, властиві феномену духовної культури. Вперше різноманітність народного вбрання України середини 19 століття, зокрема Київщини, на основі своїх власних емпіричних спостережень, переконливо ствердив історично-достовірними фактами та зафіксував у малюнках зображення народних костюмів французький лікар і дослідник

Домінік П'єр Де ля Фліз. Його творча спадщина - унікальне явище в історії української і європейської науки та культури середини 19 століття. Дев'ять рукописних книг великого формату та обсягу (деякі з них - понад тисячу сторінок) містять етнографічний опис Київщини та Черкащини з великою кількістю географічних, медичних, біологічних, мистецтвознавчих, статистичних та інших відомостей – такий творчий доробок Де ля Фліза. Книги також ілюстровані оригінальними акварельними малюнками (здебільшого це замальовки селян в народному одязі). Де ля Фліз, за його словами, обійшов "весь простір Київської губернії" і прилеглих теренів [4]. А історія цих рукописів така: в 1851 році при Київському університеті була заснована Комісія для опису губерній Київської округи, що мала характер наукового товариства і займалася науковими дослідженнями центральних українських губерній - Київської, Чернігівської, Полтавської, Волинської і Подільської. У складі Комісії працювали відомі вчені Київського університету: М.Х.Бунге, П.Б.Павлов, В.Є.Шульгін, А.Л.Метлинський та культурні діячі Д.П.Журавський, М.А.Маркович. Де ля Фліз як лікар, що постійно відвідував села, був одним із перших серед тих, хто отримав програму для етнографічного опису Київської губернії і був обраний членом - співробітником Комісії. А вже в 1856 році Домінік П'єр Де ля Фліз надіслав до Комісії по опису губерній свій альбом «Медико-топографическое описание государственных имуществ Киевского учебного округа...». Після розгляду й рецензування в Комісії ця праця була визнана однією з найзмістовніших і Де ля Флізу офіційно оголосили подяку. Високо оцінив збиральницьку працю Де ля Фліза відомий мандрівник і природознавець, Президент Російського географічного товариства, а згодом Президент Академії наук Ф.П.Літке. Наукова діяльність Де ля Фліза та його унікальні альбоми були великим явищем в українській культурі. Інститут української археографії та джерелознавства ім. М.Грушевського НАН України спільно з іншими закладами вперше видав основні рукописні праці Де ля Фліза, передусім його альбоми, створені в Україні, які хоча й використовувалися дослідниками, але широкому загалу майже невідомі. Зокрема, дуже мало аналізувались замальовки народного одягу, взуття, головних уборів та прикрас.

Основною метою праць Де ля Фліза - доктора медицини - було зібрання матеріалів з «медичної географії» Київщини на предмет дослідження впливу навколишнього середовища на здоров'я людини. Однак, вирішуючи основне завдання, Де ля Фліз - спостережливий і освічений чужинець, для якого Україна стала другою батьківщиною - за своєю особистою ініціативою включив в об'єкт дослідження набагато ширше коло явищ. Він зробив унікальні акварельні замальовки природи, людей, українського народного костюма. Домінік був закоханий в українські пісні, українські танці. Його дивувало мистецтво створення українського костюма, його декорування, манера носіння, тому більшість його малюнків в альбомах - це замальовки одягу, взуття, прикрас, головних уборів і навіть візерунків на тканинах. Його достовірні відомості і багатий ілюстративний матеріал набувають в наш час величезного значення, оскільки вони з'явилися як наслідок безпосередніх спостережень, тобто засобом, найбільш виправданим у класичній і сучасній етнографії. Багато явищ культури та побуту з того часу (за 160 років) зникли або трансформувалися під впливом різних чинників, тому пізнавальне значення праць Де ля Фліза важко переоцінити. Унікальність альбомів Де ля Фліза полягає в тому, що він розглядав українців очима іноземця. Дійсно, можна припустити, що спостережливий чужинець міг побачити більше, ніж звикле око співвітчизника. На його замальовках одягу постають не схематичні фігури

людей, а живі динамічні постаті. Де ля Фліз руйнує класичний радянський образ типових представників українського народу: хлопця в червоних шароварах і дівчини в яскравій спідниці. З його замальовок на нас дивляться представники українського народу в різноплановому ошатному, цікавому за формами і декором одязі.

Можна з певністю стверджувати, що унікальна творчість Де ля Фліза і на сьогодні фактично залишається недослідженою. В науковий обіг введено лише кілька його ілюстрацій, які повторюються в різних виданнях, тоді як обсяг, наприклад, його першого альбому становить 1245 сторінок, в тому числі 297 малюнків. Цей багатий доробок вимагає ґрунтовного і всебічного аналізу істориків, етнографів, фольклористів, краєзнавців, мистецтвознавців. Спадщина Де ля Фліза може надихнути на творчі ідеї багатьох дизайнерів. Це дуже цікавий матеріал з історії українського костюма, адже малюнки Де ля Фліза, зняті з натури, дають можливість уявити різноманітність видів та форм українського народного одягу Наддніпрянщини і Полісся (сорочки, свити, коужухи, юпки, головні убори, взуття, прикраси), пропорційне співвідношення елементів одягу, крій, колорит, оздоблення, способи носіння. Домінік Де ля Фліз звернув увагу на регіональні відмінності костюма, описав святкове і буденне вбрання, одяг різних вікових і соціальних груп, сезонний одяг, особливості вбрання мешканців окремих сіл. Відсутність опису багатьох різновидів одягу автор компенсує своїми унікальними замальовками, зробленими в своєрідній манері. Народне вбрання в історії розвитку культури не є чимось застиглим, раз і назавжди встановленим. Складний комплекс одягу, взуття та прикрас, який називається українським народним вбранням, створювався протягом століть. Історія одягу поділяється на 3 етапи: найдавніший, коли постать огортали прямокутним, спеціально витканим шматком тканини; другий - коли одяг вже шили з прямокутних шматків тканини, з'єднаних яким-небудь швом; і третій - коли одяг шили з тканини, покрової за формами людської фігури. В українському народному вбранні є поєднання цих трьох форм. Першій формі відповідають основні типи поясного одягу - запаска, плахта, обгортка. Друга форма – сорочки, скроєні з прямокутних шматків тканини. А з 19 століття в Україні вже широко використовується одяг, скроєний за формами фігури людини – свита, юпка, керсетка [2]. До складників комплексів жіночого вбрання Київської губернії за матеріалами, представленими Де ля Флізом, входить натільний одяг (сорочка), поясний (стегновий) одяг (запаска, дерга, плахта, андарак, фартух), верхній одяг (свита, юпка), верхній зимовий одяг (кожух, кожушанка). Доповнення до костюму – це пояс, взуття, головні убори, прикраси. Декоративні акценти вбрання - пояс, шийні прикраси, вишивка на сорочках, вишиті або ткані плахти і запаски - узгоджувалися з усіма складовими частинами костюма, головними уборами, зачісками, взуттям - і створювали єдиний композиційний ансамбль, який називався строєм або вбранням чи шатами. Розглядаючи зображення українок середини 19 століття на замальовках Де ля Фліза - перше, що бачиш - це різнопланові свити здебільшого світлого кольору з яскравою орнаменталією та різнокольорові юпки «з перчиками» різної довжини. У Де ля Фліза всі свити мають комір - відкладний костюмний або шальовий (рис. 1- 4). В попередніх дослідженнях вбрання Київщини здебільшого описують свити з круглим вирізом. В рукописі Де ля Фліза відзначено, що «жінки звичайно одягнені у довгі свитки з товстого білого, зрідка коричневого або сірого сукна, яке виробляють самі з овечої вовни. За місцевим звичаєм вони прикрашені блакитною або чорною стрічкою. У Київському повіті та в товариствах Петропавлів, Обухів і Фастів жінки носять юпки із світло-зеленого сукна, поцятковані

маленькими пучечками червоної вовни, цей одяг сягає аж до колін, а от в околицях Києва ці юпки шують із гарного, яскравих кольорів ситцю».



Мешканці Биливського товариства

Рис.1



Мешканці Обухівського товариства

Рис.2



Мешканці Петрів-Налівського товариства

Рис.3



Мешканці Білогородського товариства

Рис.4

Народний український костюм середини 19 ст. в замальовках Де ля Фліза

З рукописів Де ля Фліза випливає, що чоловічі свити були пошиті з товстого темно-коричневого, подекуди сірого або білого сукна з вовни власних овець. Свити досить добре захищають від негоди, широкі, переважно довгі, позаду мають каптур з двома розрізами спереду для очей, яким вкривають голову та обличчя, щоб захиститися від дощу й вітру. Під час подорожі каптур іноді служив торбою, в яку вкладали хліб. Свита не має гудзиків, її підперезують поясом з вовняної червоної тканини, пофарбованою місцевою кошінеллю. Пояси бувають також зелені, сині, жовті й різнокольорові, іноді прикрашені тканим орнаментом.

Висновки. Проведені дослідження знайомлять з багатим творчим здобутком дослідника українського народного побуту Домініка Де ля Фліза, зокрема з його матеріалами по вивченню комплексів народного костюма. Матеріал висвітлюється вперше з точки зору пошуку можливостей використання художньо-композиційних елементів українського народного костюма в проектуванні сучасних моделей одягу.

Список використаних джерел.

1. Антонович Є.А., Захарчук-Чугай Р.В., Станкевич М.Є. Декоративно-прикладне мистецтво. – Львів: Світ, 1993.
2. Білозуб В.Г., Заболотний В. Г., Рильський М.Т. Українське народне мистецтво - Вбрання - К.: Державне видавництво образотворчого мистецтва і музичної літератури УРСР, 1961.- 8с.
3. Васіна З.О. Український літопис вбрання. Т.2. – К.: Мистецтво, 2006.–13с.
4. Інститут української археографії та джерелознавства ім. М. С.Грушевського НАН України, Інститут рукопису Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського. Альбоми Де ля Фліза у 2-томах.– К.: Поліграфкнига, 1999. –С.18,227-249
5. Де ля Фліз Д.П. Костюми селян Київської губернії. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://litopys.org.ua/deflise/flise02.htm>

References

1. Antonovych E.A., Zakharchuk-Chuhaj R.V. & Stankevych M.E. Dekorativno-prikladne mystetstvo. [Arts and Crafts]. Lviv: Svit, 1993.
2. Bilozub V.G., Zabolotny V.G. & Rylski M.T. Ukrayins'ke narodne mystetstvo vbrannya. [Ukrainian folk art of clothing]. K.: Derzhavne vydavnytstvo obrazotvorchoho mystetstva i muzychnoyi literatury URSR, 1961.
3. Vasina Z.O. Ukrayins'kyj litopys vbrannya. [Ukrainian chronicle of clothing]. T.2. K.: Mystetstvo, 2006.
4. Instytut ukrayins'koyi arheografii ta dzhereloznavstva im. M.S. Hrushevskoho NAN Ukrayiny, Instytut rukopysu Natsionalnoyi biblioteky Ukrayinyim. V.I. Vernads'koho. Albomy De la Flisa u 2-tomah. [De la Flise's albums in two tomes]. K.: Polihrafknyha, 1999.
5. De la Flis D.P. Kostumy selyan Kyyivskoyi hubernii. [Costumes of the villagers of the Kyiv province]. [Elektronnyj resurs] /Rezhym dostupu: <http://litopys.org.ua/deflise/flise02.htm>

Рекомендовано до публікації : д.т.н., проф. Колосніченко М.В.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФОРМЫ УКРАИНСКОГО НАРОДНОГО
КОСТЮМА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТВОРЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ
ЭТНОГРАФА ДОМИНИКА ДЕ ЛЯ ФЛИЗА**

ПАРАНЬКО Н.П., НИКОЛАЕВА Т.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Определение особенностей построения комплекса украинского народного костюма в зарисовках 19 века, выполненных французом Домиником Де ля Флизом, для использования их в проектировании современных форм одежды.

Методика. В работе использованы литературно-аналитический и историографический анализ научных работ по изучению структуры и особенностей формирования комплекса украинского народного костюма, его колорита, орнаментальности и отделки.

Результаты. Проведенные исследования дают возможность определения наиболее ярких композиционных признаков построения комплекса украинского народного костюма: формы, колористической гаммы, художественных свойств материалов, орнаментальности и средств отделки.

Научная новизна. Впервые представлен глубокий анализ изучения форм и комплексов украинского народного костюма на основе исследования творческого наследия выдающегося исследователя украинской народной культуры Доминика Пьера Де ля Флиза.

Практическое значение. Результатов исследований заключается в возможности использования полученных композиционных характеристик украинского народного костюма в проектировании современных коллекций одежды.

Ключевые слова: украинский народный костюм, исследователи, описания, региональные комплексы, этнографические особенности, композиционные характеристики.

**RESEARCH OF THE FORM AND STRUCTURE OF THE UKRAINIAN
NATIONAL COSTUME BASED ON THE ANALYSIS OF THE CREATIVE
HERITAGE OF DOMINIQUE DE LA FLISE, AN ETNOGRAPHER**

PARANKO N. P., NIKOLAEVA T. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Definition of the constructional features of the complex of a 19-th century Ukrainian national costume, based on the sketches by a Frenchman, Dominique de la Flis, to be used in the design of modern clothes.

Methodology. The research uses literary-analytical and historical analysis of the scientific studies about the structure and formation of complex features of the Ukrainian national costume, its color, ornaments and decoration.

Findings. Conducted research allows to identify the most striking compositional features of the complex of a Ukrainian national costume: form, color, artistic characteristics of the material, ornaments and decoration methods.

Originality. For the first time a detailed analysis is introduced about the study of forms and components of the complex of a Ukrainian national costume, based on a research of the creative heritage of a prominent Ukrainian folk culture researcher, Dominique Pierre de la Flise.

The practical value. Of the current research is the possibility of using the discovered compositional characteristics of the complex of a Ukrainian national costume in the design of modern clothing collections.

Keywords: *Ukrainian national costume, researchers, description, regional complexes, ethnographic peculiarities, compositional characteristics.*

УДК 687.12

КРАВЧУК К. І., КОЛОСНІЧЕНКО О.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ЖІНОЧИХ УКРАЇНСЬКИХ
КОРСЕТОК НА ОСНОВІ МЕТОДУ БІОТЕКТОНІЧНИХ
ПЕРЕТВОРЕНЬ**

Мета. *Проектування стилізованої української корсетки з використанням народного орнаменту та з урахуванням сучасних технологій та матеріалів.*

Методика. *Використано такі методи як: метод аналізу та синтезу, метод біотектонічних перетворень, муляжний метод моделювання форми виробу, метод аналогії та порівняння. Графічні матеріали виконані за допомогою комп'ютерної програми Adobe Photoshop.*

Результати. *У ході дослідження було розроблено ряд сучасних модернізованих українських корсеток на основі методу біотектонічних перетворень та створено в реальних розмірах та матеріалах модель корсетки, яка відповідає основним естетико-технологічним критеріям цього різновиду одягу. Все це стало передумовою розвитку методів типового проектування для створення колекції жіночих корсеток.*

Наукова новизна. *Досліджено та стилізовано конструкцію жіночої корсетки з урахуванням сучасних матеріалів та технологій обробки виробу, розроблено орнамент за українськими рослинними мотивами.*

Практична значимість. *Створено авторську колекцію жіночих корсеток, що відповідає тенденціям моди.*

Ключові слова: *українська корсетка, жіноча жилетка, народний рослинний орнамент, метод біотектонічних перетворень.*

Вступ. Аналіз розвитку сучасної індустрії моди з урахуванням стану національної піднесеності суспільства в теперішній час надає актуальності поверненню до пошуку першоджерел у витоках традиційного українського костюма. Доведено, що під час кардинальних змін у державі, стаються зміни і в житті народу, а в тому числі зміни в одязі населення країни. Для того, щоб виглядати оригінально і колоритно, кожна жінка бажає показати свою національність в одязі, проте одягати традиційний український костюм кожного дня не виявляється можливим. Складовою частиною національного костюма є корсетні вироби, які разом із іншими частинами вбрання складають неповторний образ української жінки, тому створення модернізованої форми жіночої корсетки залишається доречним і актуальним. Модернізована корсетка доповнить гардероб кожної елегантної жінки, що прагне виглядати сучасно і підкреслювати свою національну приналежність.

Постановка завдання. Завданням нашого дослідження є удосконалення процесу формоутворення жіночих жилетів на основі базових форм традиційної української корсетки. При цьому, вирішення цього завдання потребує перетворення образу народного костюму шляхом відходу від стереотипів з одночасним підкресленням національної приналежності та відповідності форм сучасному напрямку моди.

Результати дослідження. Аналітичні дослідження підходів до проектування форм українських корсеток вимагають вивчення різновидів виробів митців, які працювали над створенням цих неповторних образів. Так, у борщівських українських корсетках з історичної колекції Віри Матковської [1], простоту чорної лаконічної форми збагачує вишуканий

рослинний орнамент та барви вишивки гладдю. Дизайнерська колекція Люби Чернікової [2] показала стилізоване бачення модельєра на цей актуальний вид одягу. Потребують уваги дослідження Марини Тіщенко [3], в яких детально описано особливості українських народних корсеток і на їх базі представлено кілька історичних реконструкцій. Таким чином, пошук нових форм вимагає ретельного вивчення досліджень з етностилю попередніх століть з метою застосування їх при створенні сучасного українського вбрання та його елементів.

Розвиток сучасного мистецтва характеризується миттєвою реакцією на стан суспільства і становище світу загалом. Модернізм в сучасному мистецтві відіграє важливу роль, адже саме цей стиль в залежності від часового простору змінює свій вигляд і спосіб вираження. Модернізм у мистецтві в усі часи зображується відчуженим від соціуму, витвори у цьому стилі часто абсурдні і хаотичні, лінії плавні і з одної форми можуть розмірено перетікати в іншу. Аналізуючи модерністську течію у нинішньому мистецтві, можна дійти висновку, що новітні форми тяжіють до плавних, далеких від стандартних форм, часто парадоксальних і симетричних конструкцій.

Відомо, що корсетка є видом традиційного для українців жіночого верхнього одягу, характерного для східних регіонів. Вона являє собою безрукавку з кольорової тканини прилеглого силуету. Як правило, корсетка щільно облягала жіночий стан і розширювалась від талії завдяки вставкам у шви китового вусу. Глибокий виріз горловини відкривав вишиту сорочку; поли і низ оздоблювали аплікаціями, мереживом тощо. У сучасній моді існують різновиди корсетів, а також перетворені форми корсетів у різновиди жіночих жилетів, які урізноманітнюють гардероб при поєднанні з іншими видами одягу.

Відповідно до мети нашого дослідження, запропоновано створення стилізованих форм жилеток на основі методу біотектонічних перетворень. Вивчення біологічної форми об'єкту ставить завдання щодо виявлення характеру функцій, рухів, співвідношень, мас та силуетів в тектоніці побудови його вихідних характеристик, життєвості та естетичності форм і ліній. Тому, художньо-композиційні ознаки біоформ підказують ідеї силуетів костюму, форм та ліній його окремих частин, які виступають домінантами і акцентують всю композицію. При цьому виявляються характерні лінії внутрішнього членування новоствореної форми костюма, прийоми декоративної розробки внутрішньої об'ємно-просторової структури, оформлення доповнень до костюма, що дозволяє запропонувати оригінальні проекти кольорово-орнаментального оформлення тканин, їх фактур, рисунків та декоративного оздоблення. Все це і стало базовою основою розвитку творчого мислення, емоційної виразності та професійної фантазії в нашій роботі над тектонічною побудовою нових форм, елементів костюму [5].

Для розробки моделей колекції, було обрано творче джерело - квітка орхідеї. Саме її форма і конструкція є найбільш характерною для стилю модерн. Квітки орхідей шестичленні (елементи розташовані у два кола), зовнішнє коло утворене трьома чашолистками, внутрішнє коло теж утворене трьома пелюстками, з яких середня пелюстка сильно відрізняється за формою, забарвленням і називається губою. Ці відомості про джерело натхнення, а також дослідження етапів цвітіння, дали нові ідеї розробки ліній силуету та внутрішнього декоративно-конструктивного устрою та членування форм. Метод біотектонічних перетворень дає можливість отримати велике різноманіття нових цікавих форм та включає різноманітні закономірності динаміки розвитку форм (деформація, просторовий розвиток,

розвиток подібності, перестановка елементів, відображення). Завдяки цим закономірностям, нами побудовано матрицю біотектонічних перетворень на основі форми квітки орхідеї (рис. 1.).

Створення матриці біотектонічних перетворень на основі форми орхідеї надало достатньо задумів для розвитку нових форм жіночого одягу. Пріоритети належать прилеглим до тіла моделям, які підкреслюють грудну клітину та розширюються від талії до низу, візуально зменшуючи об'єм талії. Також цікавими є моделі, в яких декоративно-конструктивні лінії членування візуально подовжують і підкреслюють фігуру. Різноманіття та етапи розвитку квітки надали змогу варіювати об'єм виробу та форму нижньої частини жилету. Композиційний центр, в різних за довжиною моделях, змінює своє розташування за рахунок зміщення по довжині моделі-декоративного вирізу на лінії застібки.

Декоративному оформленню жилетів передують дослідження різноманіття українського орнаменту. Відомо, що застосування орнаментів у одязі всіх народів виконує функцію оберегів. При цьому, український орнамент має безліч мотивів-символів, які слугують оберегами та мають різні сфери застосування (весільні, родильні тощо). Проте перехід від умовно-геометричних мотивів до реалістичніших, таких, які точніше передають живі форми, йшов паралельно з розвитком декоративності і перетворював орнаменти інформативні на більш декоративні.



Рис. 1. Матриця біотектонічних перетворень жіночого жилету на основі форми орхідеї

Все це передбачає проведення окремих досліджень, тому нами запропоновано створення орнаментів для жилетів на основі традиційних українських народних мотивів. За основу взято рослинні квіткові об'єкти, що відповідають мотивам-символам українських історичних орнаментів за формою і кольоровим вирішенням та організовано їх у композиції, що за формою та кольоровим наповненням є актуальними цього сезону (рис. 2.).

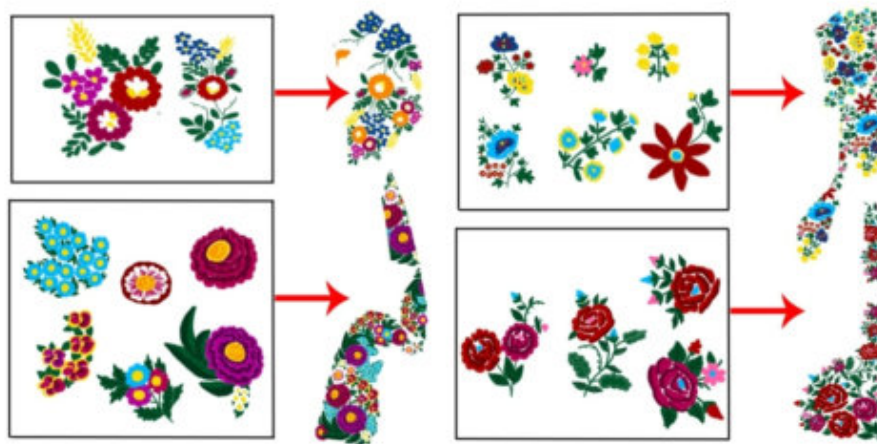


Рис. 2. Варіанти організації рослинного орнаменту на основі
характерних українських рослинних мотивів

Для досягнення обраної форми, нами запропоновано використання муляжного методу, який дозволяє отримати будь-яку форму та забезпечити гарну посадку виробу на фігурі. Він дозволяє якісно відтворювати обрану форму у відповідності до ескізу (або фотографії), а також створювати найбільш точні лекала виробу. При цьому, остаточно відпрацьовується форма одягу (її об'єм, співвідношення окремих частин), уточнюється розташування конструктивних і декоративних ліній, додаткових деталей

Нами створено зовнішню форму та побудовано модельний ряд жіночих жилетів, розроблено конструкцію виробів. На рисунку 3 представлено конструктивні лінії та місця розташування орнаментів спроектованих жилетів.



Рис. 3. Фото моделювання жилетки муляжним методом
для досягнення бажаної форми

В подальшому побудовано лекала жіночих жилетів, які порівняно із конструкціями жилетів традиційних форм (табл. 4); відображено конструктивні зміни форми, а також зменшення кількості деталей.

Для відтворення біологічної форми творчого джерела (квітка орхідеї) обґрунтовано вибір матеріалів та технологічних особливостей процесу дизайн-ергономічного проектування і виготовлення модних жіночих жилетів. Запропоновано використання моно- і

біластичних тканин та трикотажних полотен, поверхнева густина яких складає не менше 210 г/м². Багато з них являють собою двохполотні композиційні матеріали, при цьому шари полотен, як правило, різнокольорові, можуть використовуватись на будь-яку сторону, цупкі краї тканини не обсипаються, що дозволяє зменшити витрати часу на виготовлення виробів.

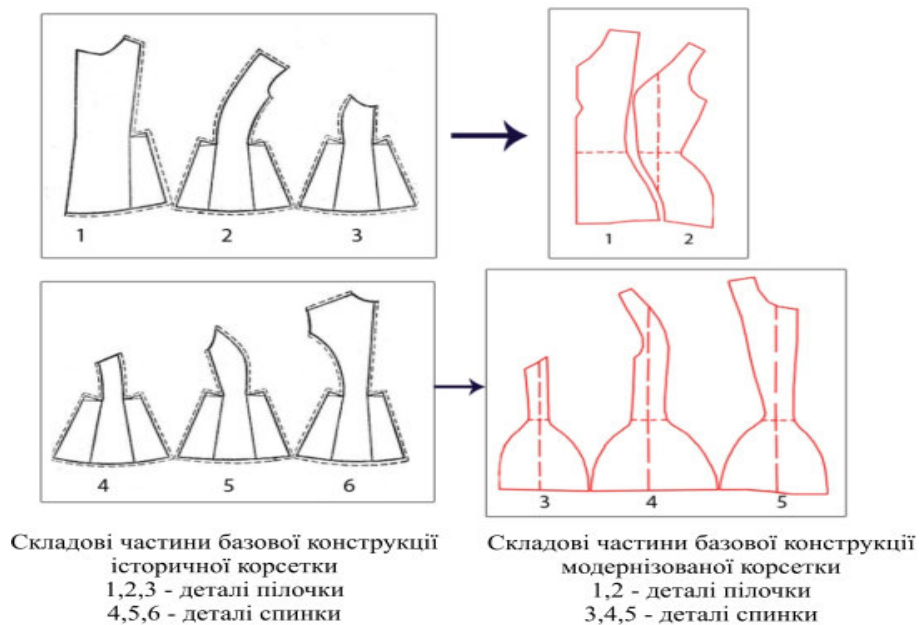


Рис. 4. Перетворення базових конструкцій корсетки у модернізовану

Обрано сучасну біластичну тканину, яка гарно тримає форму. Виразність ліній членування підсилена використанням декоративних швів, що виконано кольоровими нитками. Варіанти орнаментів та їх розміщення на розроблених формах жилетів з виділенням конструктивно-декоративних ліній, наведено на рисунку 5. Авторська колекція орнаментів виконана машинною вишивкою на сучасному автоматичному обладнанні. Створено модельний ряд стилізованих форм жіночих жилетів



Рис. 5. Колекція модернізованих жіночих корсеток з варіантами розміщення орнаментів

Висновок. Таким чином, проведені дослідження стали передумовою процесу створення асортиментних рядів сучасних модернізованих українських корсеток на основі методу біотектонічних перетворень.

Муляжним методом створено конструкції виробів реальних розмірів, що довело реальність побудови запропонованих форм. Побудовано лекала на основі макету, проведено дослідження та аналіз складових частин традиційної і модернізованої форм та конструкцій корсетки.

На основі традиційних народних мотивів розроблено та організовано різноманітні варіанти рослинних орнаментів з урахуванням декоративно-конструктивного устрою форми виробу. Подальша розробка колекції потребує методу типового проектування одягу: на розроблених лекалах графічним способом змінювати форми горловини, декоративно-конструктивних ліній, довжину виробів. Машинна вишивка орнаменту буде лише доповнювати і збагачувати моделі, а декоративні шви підкреслять зовнішню форму новостворених виробів.

Список використаної літератури

1. Сайт Борщівські сорочки з колекції Віри Матковської [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.matkovska.com/koletsia-borshchivskyh-sorochok/id=4>.
2. Сайт 2009 - 2015 Львівський портал "Культ краси" [Електронний ресурс] / Режим доступу :http://beauty.lviv.ua/index/kolekcija_ljubi_chernikovoji_osin_zima_2012_13_na_lviv_fashion_week/0-437.
3. Сайт 2010-2015 етно-вишиванка [Електронний ресурс]/ автор статті Марина Тіщенко / Режим доступу: http://etnovyshyvanka.kiev.ua/ru/4635_staty/view/4754/traditsijnij_zhinochij_odjag_korsetki_ta_staniki.htm.
4. Жайворонок Віталій Знаки української етнокультури. Словник-довідник., К.: «Довіра», 2006, стор. 308.
5. Ніколаєва Т.В. Тектоніка формоутворення костюма: Навчальний посібник. 3-тє вид., доповн. – К.: Арістей, 2011. – 340 с.
6. Розробка колекцій одягу: Навчальний посібник. / Малинська А.М., Пашкевич К.Л., Смирнова М.Р., Колосніченко О.В., К: ПП «НВЦ«Профі», 2014. – 140 с.
7. Сайт 2006 – 2013 Мистецька сторінка [Електронний ресурс]/ Про символіку рослинних орнаментів в українській вишивці / автор статті Нікішенко Ю.І./ режим доступу: <http://storinka-m.kiev.ua/article.php?id=890>.
8. Ергономіка і дизайн. Проектування сучасних видів одягу: Навчальний посібник. / М.В. Колосніченко, Л.І. Зубкова, К.Л. Пашкевич, Т.О. Полька, Н.В. Остапенко, І.В. Васильєва, О.В. Колосніченко – К.: ПП «НВЦ «Профі», 2014. – 386 с.: іл. 205.

References

1. Sait Borshchivski sorochky z koleksii Viry Matkovskoi [Site Borshchiv shirts from the collection of Vera Matkovska]. matkovska.com/koletsia-borshchivskyh-sorochok/. Retrieved from <http://www.matkovska.com/koletsia-borshchivskyh-sorochok/?id=4> [in Ukrainian].
2. Sait Lvivskiy portal "Kult krasyy" [Site Lviv Portal Site "Cult of Beauty"]. beauty.lviv.ua/index/kolekcija_ljubi_chernikovoji_osin_zima_2012_13_na_lviv_fashion_week/0-437. Retrieved from http://beauty.lviv.ua/index/kolekcija_ljubi_chernikovoji_osin_zima_2012_13_na_lviv_fashion_week/0-437 [in Ukrainian].
3. Sait etno-vyshyvanka [Site ethnic embroidery]. etno-vyshyvanka.kiev.ua. Retrieved from http://etnovyshyvanka.kiev.ua/ru/4635_staty/view/4754/traditsijnij_zhinochij_odjag_korsetki_ta_staniki.htm
4. Zhaivoronok, V.V., *Znaky ukrainskoi etnokultury*. [Signs Ukrainian ethnic culture]. Kyiv: Dovira [in Ukrainian].

5. Nikolaieva, T.V. (2011). *Tektonika formoutvorennia kostiума [Tectonics forming suit]*. Kyiv: Aristei [in Ukrainian].
6. Malynska, A.M., Pashkevych, K.L., Smyrnova, M.R., Kolosnichenko O.V. (2014). *Rozrobka kolektsii odiahu [Design clothing collections]*. Kyiv: PP "NVC"Profi". [in Ukrainian].
7. Sait Mystetska storinka [Site Art page] Pro symboliku roslynnykh ornamentiv v ukrainskii vyshyvtsi [About floral ornament symbols in Ukrainian embroidery] Nikishenko Yu.I. Retrieved from <http://storinka-m.kiev.ua/article.php?id=890>
8. Kolosnichenko M.V. & Zubkova L.I., Pashkevuch K.L., Polka T.O., Ostapenko N.V., Vasulyeva I.V., Kolosnichenko O.V. (2014). *Ergonomika i dizain. Proektuvanya suchasnuh vudiv odyagu: navchalnuy posibnik. [Ergonomics and Design. Designing of modern types of clothing: a training manual]*. Kyiv: PP «NVC «Profi». [In Ukrainian].

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЖЕНСКИХ УКРАИНСКИХ КОРСЕТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА БИОТЕКТЕНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

КРАВЧУК Е. И., КОЛОСНИЧЕНКО Е. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель: Проектирование стилизованной украинской корсетки с использованием народного орнамента и с учетом современных технологий и материалов.

Методика: Использовались такие методы как: метод анализа и синтеза, метод биотектоничних преобразований, метод моделирования формы изделия, метод аналогии и сравнения. Графические материалы выполнены с помощью компьютерной программы Adobe Photoshop.

Результаты: В ходе исследования был разработан ряд современных модернизированных украинских корсеток на основе метода биотектоничних преобразований и создана в реальных размерах и материалах модель корсетки, которая соответствует основным эстетико-технологическим критериям этой разновидности одежды. Все это стало предпосылкой развития методов типового проектирования для создания коллекции женских корсеток.

Научная новизна: Исследовано и стилизовано конструкцию женской корсетки с учетом современных материалов и технологий обработки изделия, разработан орнамент по украинским растительным мотивам.

Практическая значимость: Создано авторскую коллекцию женских корсеток, которая соответствует тенденциям моды.

Ключевые слова: украинская корсетка, женская жилетка, народный растительный орнамент, метод биотектоничних преобразований.

MODERNIZATION OF UKRAINIAN WOMEN CORSETS ON THE BASIS OF BIOTECTONIC TRANSFORMATIONS

KRAVCHUK K. I., KOLOSNICHENKO O. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose: Designing stylized ukrainian corset using national ornamentation and with current modern technology and materials.

Methodology: Used methods such as the method of analysis and synthesis, method biotektonic transformations, modeling method of product forms, method of analogy and comparison. Graphic materials made using computer program Adobe Photoshop.

Findings: The study was developed by a number of modern ukrainian corset modernized on the basis of biotektonic transformation and created a real model sizes and materials corset that meets the basic aesthetic and technological criterion this kind of clothing. All this was a precondition for the development of the typical design methods to create a collection of women's corset.

Originality: Explored and stylized construction corset with current materials and processing technology product and developed by ukrainian ornament floral motifs.

The practical value: Created author's collection of women's corsets, corresponding fashion trends.

Keywords: ukrainian corset, women's vest, folk floral ornament, method biotektonic changes.