

вони можуть викликати відповідні фізіологічні реакції, що в свою чергу спричиняє спотворення вимірювання глибинної температури. Крім того, можуть виникати відбиття на межі «датчик-тіло», що також здатне викликати похибки.

**Висновки.** На сучасному етапі спостерігається інтенсивний розвиток сенсорів на основі мікроелектронних технологій, що може забезпечити їх масове виробництво. Поряд із цим, використання мікроелектроніки дозволяє отримати цілий ряд переваг для сучасних сенсорів: довгострокову стабільність; високу надійність; великий термін служби; жорсткі умови експлуатації; високу точність; високу чутливість до вимірюваного параметра і нечутливість до інших впливних чинників; малі габарити, масу та енергоспоживання; інформаційну, конструктивну і технологічну сумісність з мікроелектронними засобами обробки інформації; низьку трудомісткість і вартість [2]. До існуючих мікроелектронних сенсорів відносять: напівпровідникові, тонко- і товстоплівкові, п'єзоелектричні, оптоелектронні, волоконнооптичні. У загальному обсязі виробництва мікроелектронних сенсорів домінують перші три типи сенсорів, а за даними західної статистики в якості мікроелектронних фігурують часто тільки напівпровідникові, що зумовлено високою розвиненістю твердотільної технології і широкими можливостями, що надає кремній для розробок і виробництва сенсорів найрізноманітніших величин [3, 4]. Мікроелектронні сенсори призначені для вимірювання температури в діапазоні від -55 до +150 °С. Вони знаходять широке застосування у вимірювальних приладах, промислових установках, системах керування, медичній апаратурі, комп'ютерах, засобах зв'язку, блоках живлення тощо [5].

#### Список використаних джерел

1. Поліщук С.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: Підручник. / Поліщук С.С. - Львів.: «Львівська політехніка», 2000. - 360с.
2. В.С. Осадчук Мікроелектронні сенсори температури з частотним виходом.: Монографія. / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Н.С. Кравчук - Вінниця.: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2007. - 163с.
3. Стучебников В.М. Микроэлектронные датчики за рубежом // Приборы и системы управления. - 1993. - №1. - С.18-20.
4. Стучебников В.М. Маркетинг микроэлектронных датчиков // Зарубежная радиоэлектроника. - 1991. - №8. - С.3-6.
5. Романов В.П. Перспективы развития полупроводниковых датчиков и измерителей температуры // Электронные компоненты и системы. - 2001. - №4. - С. 7-8.

#### PHYSICAL BASIS OF TEMPERATURE SENSORS

**Abstract.** *The main types of temperature sensors are considered. The emphasis is on the physical basis of their functioning. Their main parameters and characteristics, advantages and disadvantages, scope of application and prospects of development of temperature sensors are indicated.*

**Keywords:** *sensors, sensors, primary measuring transducers, thermosetting, thermoelectric, thermistors, thermocouples, pyrometers, fluorescence, interferometric, semiconductor, piezoelectric, acoustic, microelectronic, optoelectronic, fiber optic, solid-state, film, technology.*

Олександр Мозговий, Андрій Тігов, Ольга Герасимова

#### РОЗСИЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ГІБРИДНИМИ КОМПОЗИТАМИ З ПОЛІМЕРНОЮ МАТРИЦЕЮ

**Анотація.** *Показано вплив структури і геометрії структурних елементів гібридних композитів з полімерною матрицею, які армовані вуглецевими, скляними і базальтовими волокнами, на характер розсіювання ними механічної енергії. Виявлено підвищення експлуатаційних властивостей вуглекомполімерів після введення в матрицю модифікаторів вуглецевих нанотрубок і наночастинок. Встановлено величину демпфуючих властивостей полімерних вуглекомполімерів, які армовані вуглетканиною і вуглецевою стрічкою.*

**Ключові слова:** *гібридні композити, полімерна матриця, вуглецеві, скляні, базальтові волокна, частинки муллїту, вуглецеві нанотрубки, вуглецеві наночастинки.*

**Постановка проблеми.** Волокнисті композиційні матеріали з полімерною матрицею (ПКМ) мають високу питому міцність, при порівняно не високих енергетичних і трудових витратах у них поліпшені технологічні і експлуатаційні параметри. Це дало змогу розширити їх використання у різних галузях сучасної техніки. Надійність виробів із таких матеріалів досягається поліпшенням існуючих і застосування нових технологічних методів при їх виготовленні.

У процесі експлуатації ПКМ зазнають різного виду і величини деформацій, в тому числі, циклічних. Важливим є величина власної частоти вільних коливань і частота зовнішніх впливів, співпадання їх може викликати пошкодження виробу. Встановити характер розсіювання механічної енергії гібридними ПКМ є **метою даної роботи**.

**Матеріали і методи.** У роботі досліджувались зразки гібридних полімерних композиційних матеріалів із наповнювачем з вуглецевих, базальтових і скляних волокон. ПКМ виготовляли вакуумно-автоклавним пресуванням препрегів, що були отримані просочуванням армуючих компонентів. У якості матеріалу, який зв'язує волокна, використано епоксидну смолу ЕДТ-69Н, температура тверднення якої  $398 \pm 5$  К. Для збільшення поперечної міцності і модуля пружності у частині композиційних матеріалів в епоксидну смолу були введені мілко дисперсні добавки частинок муліту ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ). Модуль пружності таких частинок складає  $E=187 \pm 1,1$  ГПа, а твердість –  $H=18,7 \pm 2,1$  ГПа. У даному гібридному композиті використовуються трикотажні структури із високомодульних вуглецевих, базальтових і скляних ниток. Де у кожний петельний ряд вкладається високомодульне волокно [1, 2].

Досліджуванні композити використовують при виготовленні лопатей вітряних турбін у вітроенергетиці. Гібридний композит для оболонки містить вуглецеві, скляні і базальтові волокна, які знаходяться, відповідно, під кутами  $20^\circ$  і  $70^\circ$  до поздовжньої осі лопати. Лонжерон виготовляють із однонаправленого композиту, у якому вуглецеві і базальтові волокна розміщені вздовж поздовжньої осі (рис. 1).

Використання при армуванні базальтових волокон, які виготовляють із гірських порід по технологіях виготовлення скляних волокон, у 5-10 раз економніше, ніж використання вуглецевих волокон. Модуль пружності базальтового волокна (70-90 ГПа), міцність (1,9 ГПа), діаметр 10 – 18 мкм наближаються до характеристик середньомодульного вуглецевого волокна [3, 4].

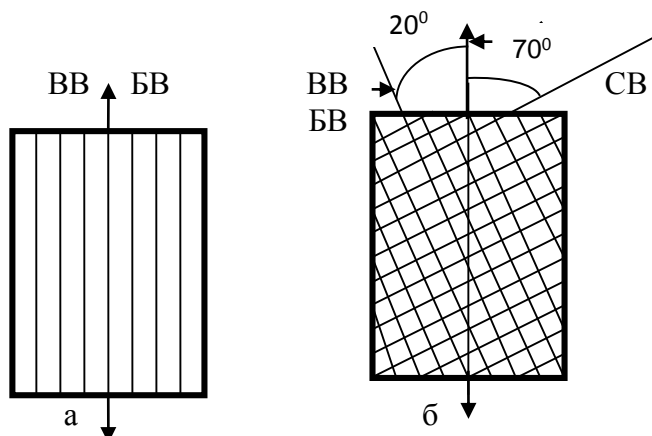


Рис. 1. Схема армування вуглецевими, скляними і базальтовими волокнами гібридних полімерних композитів, з яких виготовляють лопаті вітряних двигунів (а – для лонжерона, б – для оболонки) ВВ – вуглецеві волокна, СВ – скляні волокна і БВ – базальтові волокна

Склад і механічні властивості (модуль пружності, межа міцності при розтягуванні вздовж і поперек поздовжньої осі) досліджуваних ПКМ представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Механічні властивості досліджуваних ПКМ

№ з/п	Тип матеріалу	вздовж осі		поперек осі	
		$E_x$ , ГПа	$\sigma_{ВХ}$ , МПа	$E_y$ , ГПа	$\sigma_{ВУ}$ , МПа
1	Однонаправлений 100% ВВ	165	1259	9,3	10,3
2	Однонаправлений 80%ВВ + 20%БВ	162	1598	10,4	12,0
3	Армування під кутом до осі (70%ВВ)-20 <sup>0</sup> +(30%СВ) 70 <sup>0</sup>	34	161	17,6	108
4	Армування під кутом до осі (70%(ВВ+20%БВ))-20 <sup>0</sup> + (30%СВ) 70 <sup>0</sup>	34,6	100	10,9	65,6
5	Армування під кутом до осі (70%(ВВ+40%БВ))-20 <sup>0</sup> (30%СВ) 70 <sup>0</sup>	26,9	98,0	12,7	72,0

Також досліджували полімерні вуглепластики з вуглецевими наномодифікаторами. Вихідним матеріалом для досліджень був вуглепластик на основі вуглецевої тканини УТ 900 саржевого плетіння і зв'язуючого - епоксидної терморективної смоли ЕД 20. Вуглепластики отримували методом викладки з подальшим гарячим пресуванням.

Для модифікації вуглепластиків з метою підвищення їх фізико-механічних характеристик використовували стандартні вуглецеві нанотрубки (ВНТ) та розроблені вуглецеві наночастинки (ВНЧ) [5-7]. Для рівномірного розподілення вуглецевих наномодифікаторів у епоксидному зв'язуючому використовували технологію ультразвукового перемішування. Вміст наномодифікаторів у зв'язуючому складав 1,3 – 1,5% мас. (4 – 5 % мас. по зв'язуючому).

Для порівняння впливу структури вуглепластика на розсіяння механічної енергії був також досліджений вуглепластик на основі високомодульної односпрямованої вуглецевої стрічки ЕЛУР та зв'язуючого ЕД 20. Фізико-механічні властивості досліджених матеріалів подані в таблиці 2.

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості вуглекомпозитів з наномодифікаторами

№ з/п	Тип матеріалу, склад	Густина $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Модуль пружності $E$ , ГПа
1	Вуглепластик (вихідний) армуюча вуглетканина УТ 900 – 69,6 % мас. зв'язуюче ЕД 20 – 30,4 % мас.	1,40	84
2	Вуглепластик армуюча вуглетканина УТ 900 – 68,4 % мас. зв'язуюче ЕД 20 – 30,1 % мас. Модифікатор ВНТ 1,5% мас (5% мас. по зв'язуючому)	1,46	132
3	Вуглепластик армуюча вуглетканина УТ 900 – 52,9 % мас. зв'язуюче ЕД 20 – 45,6 % мас. Модифікатор ВНЧ 1,5% мас (3% мас. по зв'язуючому)	1,40	128
4	Вуглепластик односпрямований Вуглецева армуюча стрічка ЕЛУР – 61,7 % мас. зв'язуюче ЕД 20 – 36,9 % мас. Модифікатор ВНЧ 1,4% мас (4% мас. по зв'язуючому)	1,48	160

Розсіяння механічної енергії ПКМ вимірювали методом внутрішнього тертя на оберненому крутильному маятнику при частоті близько 1 Гц за умови збільшення та

зменшення амплітуди деформації. Досліджували амплітудні залежності внутрішнього тертя (АЗВТ) на зразках розміром 2x4x100 мм, які вирізались вздовж осі показаної на рис. 1. Визначення впливу змінних деформацій на вуглекомпозит проводили в амплітуднозалежній частині спектру вільних затухаючих коливань. Амплітуда деформації змінювалась в межах  $2 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-3}$ .

**Результати дослідження і їх обговорення.** Наявність різних армуючих елементів в композиті сприяє більш рівномірному розподілу напружень. Розсіювання механічної енергії не тільки залежить від армуючих волокон, а також і від їх розташування. Виявлено, що розсіювання механічної енергії найбільше у ПКМ, який армований вуглецевими волокнами. Введені додатково базальтові і скляні волокна зменшують розсіювання механічної енергії композитами (рис. 2).

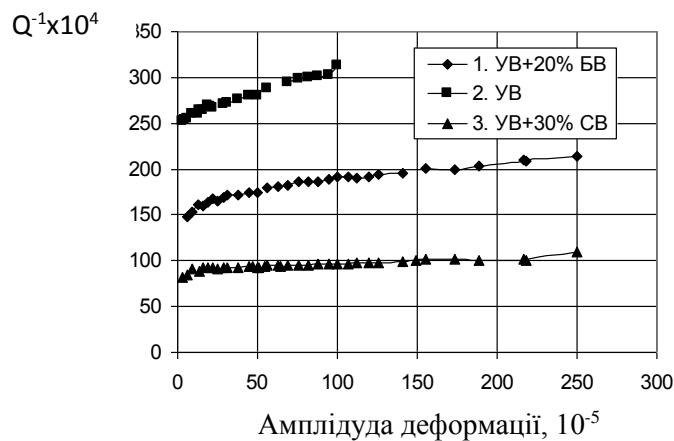


Рис. 2. АЗВТ ПКМ на основі вуглецевих волокон (УВ), 20% базальтових волокон і 30% скляних волокон: 1 – вуглецеві і базальтові волокна розміщені вздовж поздовжньої осі композиту; 2 – вуглецеві волокна розміщені вздовж поздовжньої осі композиту; 3 – вуглецеві і скляні волокна розміщені під кутами  $20^{\circ}$  і  $70^{\circ}$  до поздовжньої осі композиту. Криві отримані при збільшенні амплітуди деформації

Введення в матрицю композиту високомодульних дрібнодисперсних добавок з частинок муліту призвело до зменшення фону внутрішнього тертя. Це свідчить про більший вплив матриці полімерного композиту на розсіювання механічної енергії. Для зміцненого композиту розсіювання ним механічної енергії зменшується, що і підтверджується експериментально (рис. 3).

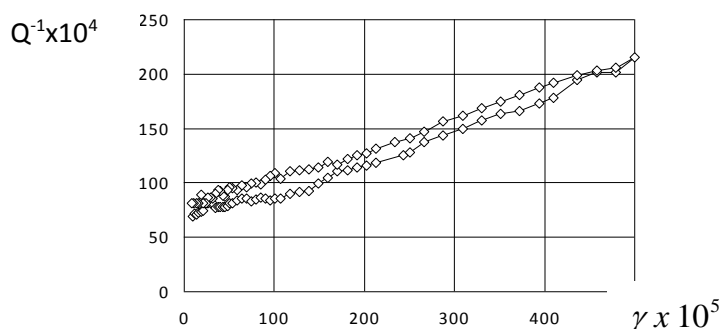


Рис. 3. Амплітудна залежність внутрішнього тертя гібридно-армованого композиту: 70%(ВВ+20%БВ)+30%СВ з додатковим добавленням в полімер частинок муліту

Введення в структуру композитів армуючих високомодульних та високоміцних вуглецевих волокон підвищує жорсткість, опір текучості, в'язкість руйнування, зменшує коефіцієнт теплового розширення композиту [5]. Подальше зростання механічних

характеристик та одержання додаткових експлуатаційних властивостей – тепло-, електро, антифрикційних і т. п., пов'язують з введенням невеликої кількості вуглецевих наномодифікаторів у полімерні вуглекомпозити [6, 7].

Можливість дослідження важливої фізичної характеристики - розсіяння механічної енергії у гібридних ПКМ на основі вуглецевих і базальтових волокон методом внутрішнього тертя показана у роботах [8, 9]. Встановлено, що величина внутрішнього тертя, інтенсивність розсіяння механічної енергії залежать від складу і структури досліджуваних вуглецевих ПКМ.

Аналіз поданих у таблиці 2 даних показав, що використання у невеликій кількості (1,3-1,5% мас.) вуглецевих наномодифікаторів вуглецевих нанотрубок (ВНТ) та вуглецевих наночастинок (ВНЧ) при збереженні густини призвело до збільшення модуля пружності на 50-60% у порівнянні з вихідним ПКМ на основі армуючої вуглецевої тканини УТ 900 та зв'язуючого ЕД 20.

Дослідження АЗВТ не виявили великого впливу величини змінної деформації на розсіяння механічної енергії усіх досліджуваних вуглекомпозитів. Спостерігається незначне зростання величини внутрішнього тертя у досліджуваному діапазоні амплітуд: для вихідного ПКМ і з модифікатором ВНТ на 10-12% (рис. 4) і для вуглепластика з модифікатором ВНЧ на 20-25% (рис. 5).

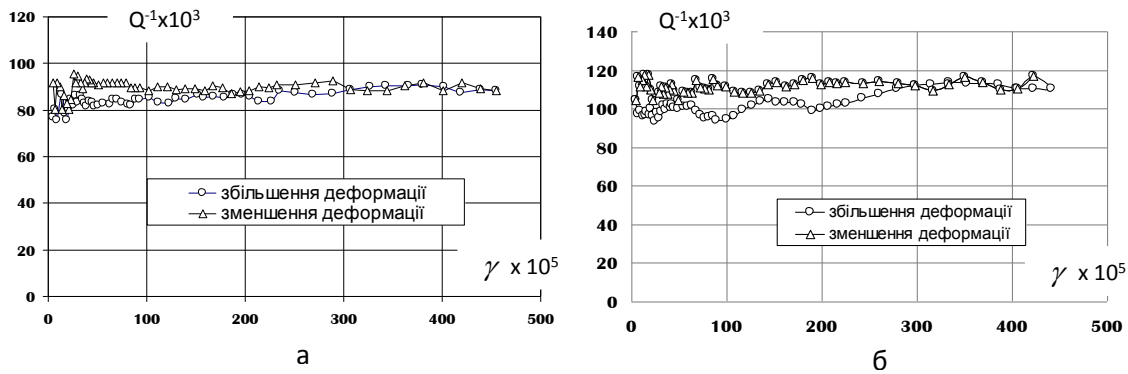


Рис. 4. Амплітудна залежність внутрішнього тертя вуглепластика з армуючою вуглетканиною УТ 900: а- вихідний ПКМ; б – з модифікатором ВНТ

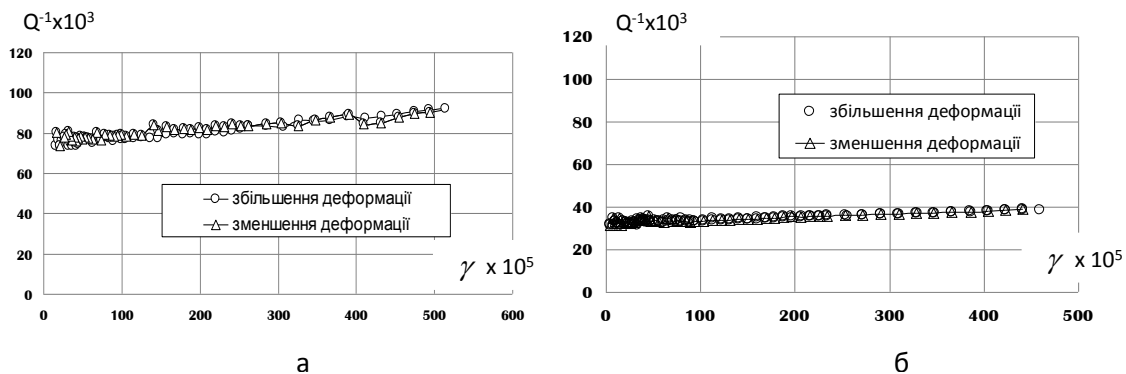


Рис. 5. Амплітудна залежність внутрішнього тертя вуглепластика: а - з армуючою вуглетканиною УТ 900 і модифікатором ВНЧ; б - односпрямованого з вуглецевою армуючою стрічкою ЕЛУР і модифікатором ВНЧ

Збільшення і зменшення амплітуди деформації під час вимірювання АЗВТ викликало невелику різницю величини розсіяння механічної енергії для вихідного ПКМ і з модифікатором ВНТ. При цьому спостерігається неспівпадання кривих при збільшенні та зменшенні амплітуди деформації. Криві при зменшенні деформації проходять вище кривих, які отримані при збільшенні амплітуди деформації (рис. 3). Для

вуглепластика з армуючою вуглетканиною УТ 900 і модифікатором ВНЧ та односпрямованого вуглепластика з вуглецевою армуючою стрічкою ЕЛУР і модифікатором ВНЧ неспівпадання кривих при збільшенні і зменшенні амплітуди деформації не спостерігається.

Введення вуглецевих нанотрубок у вуглепластик викликало підвищення фізико-механічних характеристик композиту – збільшення модуля пружності і при цьому появились додаткові центри розсіяння механічної енергії. Величина внутрішнього тертя зросла на 16%.

Вуглецеві наночастинки викликали невелике збільшення інтенсивності АЗВТ порівняно з вихідним ПКМ і модифікаторами ВНТ. Величина внутрішнього тертя композиту, армованого вуглетканиною УТ 900, у всьому діапазоні амплітуд деформації, у три рази більше за розсіяння механічної енергії односпрямованим вуглекомполімером, який армовано вуглецевою стрічкою ЕЛУР.

Проведені дослідження показали перспективність введення наномодифікаторів, які дозволяють поліпшити експлуатаційні властивості вуглекомполімерів трохи збільшуючи розсіяння механічної енергії. Наявність армуючою вуглетканиною УТ 900 спричиняє більші втрати механічної енергії у ПКМ порівняно з односпрямованим вуглекомполімером з армуючою стрічкою ЕЛУР.

**Висновок.** Встановлено непрямим методом різний характер розсіювання механічної енергії гібридними полімерними композитами на основі вуглецевих, скляних і базальтових волокон. Змінюючи структуру композиту і його будову, тобто кількість армуючих волокон і їх розташування відносно поздовжньої осі, можна змінювати його міцність і демпфуючі властивості.

Введення модифікаторів ВНТ і ВНЧ сприяє підвищенню експлуатаційних властивостей вуглекомполімерів і стабілізує розсіяння механічної енергії у зв'язуючому - епоксидній смолі ЕД 20.

Дослідження АЗВТ полімерних вуглекомполімерів, які армовані вуглетканиною УТ 900 і вуглецевою стрічкою ЕЛУР виявили значні демпфуючі властивості композитів –  $Q^{-1} = 0,1$  для композитів з вуглетканиною і у три рази менше значення розсіяння механічної енергії для композиту зі стрічкою. Змінна деформації мало впливає на втрати механічної енергії досліджуваних вуглепластиків.

Проведенні дослідження ПКМ дозволяють науково обґрунтувати технології виготовлення полімерних вуглепластиків з вуглецевими наномодифікаторами.

#### Список використаних джерел

1. Композиционные материалы: Справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др. По общей ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.
2. Перепелкин К. Е. Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства / К. Е. Перепелкин // Химические волокна. Ч.1. – № 4, 2005. – С. 7 – 22; Ч.2. – №5, 2005. – С. 54-69; Ч.3. - № 1, 2006. – С. 41 – 50.
3. Вишняков Л. Р. Структура и некоторые свойства оксидных кристаллов на основе муллита и армированных ими композитов с алюминиевой матрицей / Л. Р. Вишняков, В. П. Мороз, Б. Н. Синайский, О. П. Яременко, В. А. Коханий, В. Т. Варченко // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении, 2006. – №2. – С. 27 – 31.
4. Вишняков Л. Р. Полимерные композиционные материалы на основе углеродных и базальтовых волокон для лопастей малых ветроэлектрогенераторов / Л. Р. Вишняков, Б. Н. Синайский, О. П. Яременко, Э. С. Байдала // Повышение эффективности производства электроэнергии – Новочеркасск: Оникс+, 2007. – С.53 – 57.
5. Вишняков Л. Р. Углеродные частицы-анионы для модифицирования полимерных композитов / Л. Р. Вишняков, Л. Н. Переселенцева, В. А. Коханий // Материалы 29-й Межд. НПК и блиц-выставки «Композиционные материалы в промышленности» (Славполицом-2009), Ялта, 1-5 июня 2009. С.17 – 19.
6. Kumar S. Polymer/Carbon Nanotube Composites: Opportunities and Challenges. International Symposium on Nanostructured Polymeric Materials, Tokyo, Japan, December 4-5, 2003. – P. 77 – 81.

7. Гуняев Г. М. Технология и эффективность модифицирования углепластиков углеродными наночастицами / Г. М. Гуняев, С. И. Ильченко, О. А. Комарова и др. // Конструкции из композиционных материалов, 2004. – № 4. – С. 77 – 79.

8. Вишняков Л. Р. Полимерные гибридно-армированные композиты для лопастей малых ветродвигателей / Л. Р. Вишняков, Б. Н. Синайский, О. П. Яременко, В. С. Петропольский, З. Н. Демиденко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2009. – №2. – С. 41- 45.

9. Вишняков Л. Р. Демпфирующие свойства гибридных полимерных композиционных материалов на основе углеродных и базальтовых волокон / Л. Р. Вишняков, А. В. Мозговой, Б. Н. Синайский, В. П. Мороз // Композитные материалы. Международный научно-технический сборник. Днепропетровск : ДГАУ, 2010. – Т.4. – №1. – С. 58 – 60.

## **DISPERSION OF MECHANICAL ENERGY WITH HYBRID COMPOSITES WITH POLYMER MATRIX**

***Abstract.** The article shows the influence of the structure and geometry of structural elements of hybrid composites with a polymer matrix reinforced with carbon, glass and basalt fibers on the character of the dispersion of mechanical energy by them. It has been revealed the increase in the operational properties of carbonic composites after the introduction of carbon nanotubes and nanoparticles modifiers into the matrix. The paper established the value of damping properties of polymer carbonic composites, which are reinforced with carbon cloth and carbon tape.*

***Keywords:** hybrid composites, polymer matrix, carbon, glass, basalt fibers, mullite particles, carbon nanotubes, carbon nanoparticles.*

**Олександр Мозговий, Едуард Посвятенко, Наталя Посвятенко, Віктор Русских**

## **ОДНА ІЗ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕННЯ ШЕСТЕРЕННИХ ГІДРОМАШИН**

***Анотація.** Встановлено додаткове джерело генерування абразивних частинок робочими деталями гідромашини, що виникають завдяки кавітації. Запропоновано безводневе азотування у тліючому розряді, яке прискорюється попередньою холодною пластичною деформацією, як альтернативну фінішну операцію технології виготовлення та ремонту гідромашин.*

***Ключові слова:** гідромашини, гідроабразивне зношування, кавітація, безводневе азотування.*

**Постановка проблеми.** У процесі експлуатації шестеренні насоси потребують ремонту. Ресурс роботи таких насосів до ремонту залежить від багатьох факторів. Підвищення надійності роботи шестеренних насосів є актуальною науковою і народногосподарською проблемою. Ефективним напрямом вирішення цієї проблеми є встановлення причин зношення їх складових частин і, відповідно, відмови у роботі.

**Метою статті** є встановлення причин зношення деталей шестеренного насоса.

**Аналіз публікацій.** Аналіз літературних даних показує, що зношування деталей шестеренних насосів є основною причиною зниження його експлуатаційних характеристик і ресурсу. Число відмов насосів становить 67-75% [1]. Порушення герметичності нагнітальної порожнини, зростання внутрішніх витрат, величина яких визначає основні технічні характеристики насоса, викликано зношуванням деталей насоса. В першу чергу це зміна первинної макро- і мікрогеометрії поверхонь та їх фізико-механічних властивостей [2].

Фірма «Вікерс» (Великобританія) та Британська дослідницька асоціація гідромеханіків (BHRA) проводила дослідження з визначення залежності ресурсу гідравлічних компонентів від класу чистоти рідини. Було встановлено, що рівень забруднень (клас чистоти) робочої рідини напряму впливає на ресурс компонентів гідросистеми. Правильна фільтрація підвищує тривалість використання робочої рідини.

**Пошкодження шестеренних гідромашин.** Основним видом пошкодження в шестеренному насосі є гідроабразивне зношування. Частинки, що руйнують поверхню деталей шестеренних насосів, виступають: нерухомо закріплені тверді зерна, в поверхні