**Звіт про науково-дослідну роботу: ”Розробка вуглецевих і комбінованих волокнових преформ для піронасичення вуглецем, оптимізація складу і структури преформ і композитів за критеріями зносостійкості авіаційних гальм”**

**Мета роботи** - розробка вуглець-вуглецевих композиційнихї матеріалів (ВВКМ) і технології виготовлення вуглецевих і комбінованих волокнових армуючих каркасів для піронасичення вуглецем, оптимізація складу і структури преформ і композитів за критеріями зносостійкості авіаційних гальм.

**Терміни виконання наукової роботи**: початок І кв. 2017р.

закінчення IV кв. 2019 р.

**Керівник роботи**: Мазна Олександра Вікторівна, к.т.н. ,(Email: mazna@i.ua)

**Скорочений зміст висновків рецензентів**.

Заключний звіт включає вступ, 4 тематичних розділи і загальні висновки.

Значна частина роботи присвячена дослідженню технології виготовлення об’ємних вуглецевих волокнистих преформ для піронасичення вуглецем із газової фази, включаючи розробку вуглецевого наповнювача з використанням технологій трикотажного виробництва.

Авторами запропоновано новий армуючий наповнювач для виготовлення преформ  вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів зі структурою трикотажу утокових переплетень (ластик з утком). Зважаючи на високу здатність до пошкодження вуглецевих волокон, особливо високоміцних з ПАН прекурсорів, їх текстильна переробробка і можливе використання в техніці обмежено, тому розробка нових технологій виготовлення армуючих наповнювачів для композиційних матеріалів є актуальною науково-практичною задачею. Трикотажний спосіб виготовлення армуючого волокнистого наповнювача викликає інтерес зважаючи на можливість отримання матеріалів з регульованою структурою та широким спектром експлуатаційних властивостей.

Важливою є практична частина досліджень. В роботі проведено комплексні структурні, триботехнічні та теплофізичні дослідження ВВКМ виготовлених на основі розроблених вуглецевих наповнювачів з використанням різних типів вуглецевих волокон. Визначено основні характеристики ВВКМ з використанням волокон з ПАН-прекурсорів та гідратцелюлозних волокон за критеріями авіаційних гальм. Розроблені технології трикотажної переробки високоміцних вуглецевих волокон підтвердили принципову можливість створення на їх основі високоякісних ВВКМ фрикційного призначення. Це особливо актуально зважаючи на відсутність в Україні виробництва і обмежень щодо імпорту вуглецевих волокон і армуючих наповнювачів для композиційних матеріалів як з вуглецевою, так і полімерною матрицями.

Робота демонструє глибокі знання і досвід з використання різних за складом та структурою вуглецевих волокон та функціональних композиційних матеріалів на їх основі.

Вважаю, що робота заслуговує позитивної оцінки. Результати можуть сприйматися як корисний внесок в технології виготовлення нових сучасних вуглець-вуглецевих матеріалів.

Цільова тема, в якій проведені дослідження вуглецевих волокнистих преформ для піронасичення вуглецем і вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів фрикційного призначення. Вона присвячена великій групі волокнистих армуючих наповнювачів і можливості їх застосування для композиційних матеріалів функціонального і конструкційного призначення.

В останні роки різко зріс інтерес до вуглецевих волокон, зокрема, до високоміцних і високомодульних з ПАН-прекурсорів. Завдяки розвитку технологій отримання вуглець-вуглецевих матеріалів відомо, що їх використання в високонавантажених системах гальмування літаків має певні переваги порівняно з системами на основі традиційних фрикційних матеріалів. Серед таких переваг можна відзначити відносно малу питому вагу, яка дозволяє зменшити вагу систем гальмування на 40-60 %, високу стабільність коефіцієнту тертя, високу термостійкість. В той же час проблема розширення області застосування цих матеріалів у системах гальмування, полягає в розробці економічно ефективної технології отримання такого типу композитів.

В роботі надані результати досліджень процесу виготовлення волокнистих преформ для піронасичення вуглецем з газової фази та визначені їх структурні особливості з використанням різних видів вуглецевих волокон. Зокрема, вивчалися процеси отримання армуючого матеріалу у вигляді трикотажних полотен утокових переплетень, що містять високоміцні вуглецеві волокна з ПАН-прекурсорів та гідратцелюлозних волокон Урал. Проведені дослідження дозволили розробити технологію отримання вуглецевих преформ з трикотажних полотен утокових переплетень, яка завдяки відкритій пористості транспортного типу сприяє рівномірному розподіленню вуглецевої матриці в об’ємі ВВКМ.

На наш погляд дуже цікавою є частина роботи, що присвячена дослідженню властивостей ВВКМ отриманих з використанням різних видів вуглецевих волокон, оскільки відомо про складність їх текстильної переробки зважаючи на схильність до пошкодження і втрати міцності. Авторами розроблені передумови для промислової технології виготовлення вуглецевих армуючих матеріалів у вигляді трикотажних полотен.

Авторами проведене комплексне багатопланове дослідження, що заслуговує відмінної оцінки. Рекомендовано продовжити дану роботу в напрямку дослідження фізико-механічних властивостей вуглець-вуглецевих матеріалів, виготовлених з використанням розроблених преформ.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

Результати роботи можуть бути використані для розробки промислової технології виготовлення вуглецевих армуючих матеріалів у вигляді трикотажних полотен.

Дані про реєстрацію роботи: № 0117U002457

**РЕФЕРАТ**

**Об’єкти дослідження** – вуглецеві волокнові преформи на основі комбінованих трикотажних полотен для піронасичення вуглецем; вуглець-вуглецеві матеріали для авіаційних гальм.

**Мета роботи** – розробка вуглець-вуглецевих композиційнихї матеріалів (ВВКМ) і технології виготовлення вуглецевих і комбінованих волокнових армуючих каркасів для піронасичення вуглецем, оптимізація складу і структури преформ і композитів за критеріями зносостійкості авіаційних гальм.

**Методи дослідження** – оптична мікроскопія, вимірювання пористості, визначення теплоізичних властивостей, випробування на тертя за критеріями авіаційних гальм.

Запропонований новий армуючий матеріал преформ для піронасичення вуглецем у вигляді трикотажних полотен утокових переплетень, що містять високоміцні вуглецеві волокна з ПАН-прекурсорів та гідратцелюлозні волокна Урал.. Показано, що пориста структура вуглецевих волоконних преформ характеризується наявністю відкритої пористості транспортного типу та забезпечує необхідну пористість для піронасичення міжволокнового та міжфіламентного типу простору вуглецем.

Визначено, що структура ВВКМ наслідує основні особливості вихідної структури трикотажних полотен, має характерну укладку ВВ та текстуру залежно від видів використаних ВВ.  Показано, що використання преформ з трикотажних полотен утокових переплетень сприяє рівномірному розподіленню вуглецевої матриці в об’ємі ВВКМ. Використання ВВ з ПАН прекурсорів дає можливість отримати матеріали з питомою вагою 1,71-1,73  г/см3.

Трикотажна технологія утокових переплетень дає можливість підвищити якість піронасичення, забезпечити потрібну анізотропію властивостей шляхом просторового розташування ВВ. Теплопровідність ВВКМ з використання ВВ з ПАН-прекурсорів має вищі експериментальні та розраховані характеристики. Триботехнічні властивості розроблених ВВКМ  відповідають критеріям матеріалів авіаційних гальм.

**Ключові слова**: ВУГЛЕЦЬ-ВУГЛЕЦЕВІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ПІРОВУГЛЕЦЬ, АВІАЦІЙНІ ГАЛЬМА, АРМУЮЧІ КАРКАСИ.

**Публікації**

1). Разработка армирующего наполнителя со структурой уточно-вязанного трикотажа с использованием высокопрочных углеродных волокон,  А.В.Мазная, Н.Н.Хохлова, В.А.Коханый, И.Н.Ободеева // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сврка. Материалы 13 -й Международной научно-технической конференции (Минск 16-18 мая 2018 г) С.141-145;

2). Композиційні матеріали на основі трикотажних структур з високоміцних вуглецевих волокон для конструкцій авіаційної техніки, Безсмертна В.І., Мазна О.В., Хохлова Н.М. // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІІРТК-2018) одинадцята Міжнародна науково-практична конференція 22-23 травня 2018 р. Київ. Збірка тез. С.67-69;

3). Физико–механические свойства полимерных композиционных материалов на основе углеродных трикотажных уточно-вязанных полотен, Мазная А.В., Дмуховский Р.В.,Морозова В.Н., Ободеева И.Н. Авторы от Национального аэрокосмического университета «Харьковский авиационный институту» Шевцова М.А., Чабаненко А.О.// Симпозіум «Багатофункціональні перспективні композиційні матеріали: від ідеї до ринку» м.Варшава, 17-21 вересня 2018 р;

4). Physical and mechanical properties of polymer based composites reinforced by weft knitted carbon fabrics, Shevtsova M., Chabanenko A.,Mazna O.,Dmukhovsky R., Morozova V., Obodeeva I.// 2018 Fall Meeting, (E-MRS), Warsaw University of Technology (Poland), The European Mterials Research Society, 17-20 september 2018;

5). Carbon fibrous filler of knitted structure for multifunctional polymeric composite materials, Maznaya A. V., Kohanyiy V. A., Bessmertnaya V. I., Vasilenkov Y. M., Kohanaya I.N., Hohlova N.N. // 10TH INTERNATIONALconference advanced materials and technologies 24-26 oct 2018 Ninghai China;

6). Объемный волокнистый наполнитель для углерод-углеродных материалов на основе трикотажных полотен из углеродных волокон разных типов, А.В. Мазная, В.И. Безсмертная, Н.Н. Хохлова, Ю.М. Василенков // Сьома Міжнародна конференція «Космічні технології: сучасне та майбутнє»,  21 - 24 травня 2019 р. , ДП «КБ «Південне» м.Дніпро;

7). Конструкційні полімерні композиційні  матеріали на основі  вуглецевих волокнистих наповнювачів трикотажної структури, Безсмертна В.І.,  Мазна  О.В.,  Хохлова  Н.М.  // 20-Міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» 21-22 травня 2019 Національний авіаційний університет, м.Київ  ст. 50-53;

8). Полімерні композиційні матеріали на основі вуглецевих волокнистих наповнювачів для конструкцій авіаційної техніки, Мазна О.В., Коханий В.О., Безмертна В.І., Сушко В.І. «Мотор Січ» //16-Міжнародна спеціалізована виставка «Зброя та безпека» 10 жовтня 2019 р. Київ, ст.88-89.;

9).  Разработка преформ из углеродных трикотажных полотен для углерод-углеродных материалов, Мазная А.В., Безсмертная В.И., Хохлова Н.Н., Шаповал И.В. // 6-та  Міжнародна конференція HighMatTech жовтень 28-30, Київ 2019, с.123.; 10). Mazna O. V., Bezsmertna V. I., Kohanyiy V. A.,Vasilenkov Y. M., .Bilan I. I., Shevtsova M.A., Stavychenko V. G. Multifunctional polymer-based composite materials with weft-knitted carbon fibrous fillers // the 9th EASN International conference on Innovation in Aviation and space, 3-6 September 2019, Athens, Greece.