**Звіт про науково-дослідну роботу: „ Розробка і дослідження поверхневої металізації полімерних композитів  в’язано-паяними сітками з безсвинцевими припоями для блискавкозахисту в авіаційній техніці і вітроенергетиці "**

**Мета роботи** - розробка науково-технологічних основ процесів виготовлення блискавкозахисних в’язано-паяних мідних сіток із підвищеним ефектом дисипації енергії блискавки з використанням екологічно дозволених безсвинцевих припоїв для виготовлення і ремонту елементів конструкцій із полімерних композитів у авіаційній техніці і вітроенергетиці.

 Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2015 р.

 закінчення IV кв. 2017 р.

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

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

Тема роботи є дуже актуальною, оскільки вона присвячена вирішенню важливої проблеми для авіації і вітроенергетики – блискавкозахисту полімерних композиційних матеріалів, які ш ироко використовуються в літальних апаратах та вітролопатях вітроагрегатів.

Автори роботи на основі результатів досліджень, що проаналізовані в патентно-інформаційному звіті та літературному огляді, відзначили, що проблему блискавкозахисту полімерних композиційних матеріалів можна вирішити за рахунок поверхневої металізації композитів в’язано-паяними сітками із мідних мікродротів, оскільки саме такі сітки мають кращі фізико-механічні та електричні властивості порівняно із, наведеними в роботі, даними по сіткам із латуні, бронзи та ін.

Велику увагу в роботі приділено аналізу безсвинцевих припоїв на основі олова ивості мідних мікродротів, що покриті безсвинцевим припоєм та надані рекомендації щодо заміни шкідливого свинецьмісткого припою типу ПОС-61 на екологічно безпечний безсвинцевий припій.

В роботі проведено порівняльний аналіз електричних властивостей в’язано-паяних сіток із мідного дроту різного діаметру з використанням безсвинцевого припою та надані переконливі аргументи на користь використання у складі блискавкозахисної системи композитів сіток з більш високою електропровідністю. Представлені розрахунки та позитивні експериментальні результати захисної дії сіток-блискавковідводів від дії імітованого розряду блискавки.

Цікавою доробкою авторів є ідея введення в склад ламінатів вуглецьпластика електропровідних нанодомішок (1-2%), що сприяє електричній гомогенізації всієї блискавкозахисної структури. В роботі наведена схема вимірювання електроопору суспензії, що містить вуглецеві нанодомішки та надана формула розрахунку питомого електроопору вуглецевого матеріалу.

Робота має практичне втілення, підтвердження тому є Акт про участь в роботах по організації виробництва блискавковідводів, що не містять свинець.

В цілому авторами проведене корисне багатопланове дослідження і виконана цікава цілеспрямована робота, яка заслуговує позитивної оцінки.

В цілому авторами проведене корисне багатопланове дослідження і виконана цікава цілеспрямована робота, яка заслуговує позитивної оцінки.

Робота, що рецензується, є продовженням тематики Інституту з актуальної проблеми блискавкозахисту полімерних композитів. Автори звіту понад 10 років плідно працюють в напрямку науково-практичної реалізації результатів попередніх досліджень, які знайшли впровадження не тільки в авіаційній техніці, але й у вітроенергетиці. Об’єкти досліджень для цих галузей – блискавкозахисні в’язано-паяні сітчасті струмовідводи – не зважаючи на однакові структурні ознаки за формою чарунок сітки відрізняються побудовою і складом дротового джгута, з якого створюється сітчастий каркас. Проте вітролопаті, які треба захистити від блискавки порівняно, наприклад, з обшивкою сучасного літака не потребують суттєвих обмежень за масою. Тому для вітроенергетики шляхом досягнення дисипації енергії за рахунок дротяних сіток-стумовідводів можна більш вільно варіювати діаметрами дротів та типом припоїв, якими покриті мідні дроти і спаяні суміжні петлі.

В роботі проаналізовано характеристики декількох типів блискавкозахисних сіток, щоб їх раціонально використовувати для композитів. Проте головною проблемою, що вирішена в роботі стала заміна екологічно небезпечних, але технологічних олов’яно-свинцевих припоїв на припої на основі олова. Таким припоєм, що був рекомендований авторами роботи, визначений сплав SAC. Ця рекомендація з’явилася в результаті ретельного дослідження кута змочування мідних поверхонь та електропровідності припоїв.

Окреме дослідження, що проведено в роботі, присвячене раціональному використанню вуглецевих нанорозмірних частинок для регульованого впливу на електропровідність ламінатів, з яких складається композит. Саме градієнтна за електроопором ламінатна структура композитів, яка складає товщину композитної деталі, дозволяє здійснити регульований рівень діелектричних втрат у зв’язуючому. Це сприяє дисипації енергії розряду, особливо при імпульсних струмах блискавки. Було встановлено, що оптимальними концентраціями вуглецевих наночатинок у матриці (зв’язуючому) є 1-2 об.%.

Таким чином, в роботі доведено, що для ефективного блискавкозахисту конструкцій необхідно використовувати комбінований вплив в’язано-паяних сіток (для відведення значної кількості зарядів по поверхні вуглецьпластика) і вуглецевих наночастинок (для запобігання наскрізного пропалу композиту за товщиною).

Заміна в мідних блискавкозахисних сітках припою типу ПОС-61 на безсвинцевий SAC в результаті досліджень із змочування мікродротів і оптимізації електроопору дозволяє перейти на діаметр мікродроту 0,1 мм (при збільшеному обсязі його промислового виробництва) і досягти економії маси  сітчастого струмовідводу (до 15%).  Це є дуже важливим для їх використання в авіаційній техніці.

На наш погляд, авторами виконана дуже цікава робота, яка заслуговує позитивної оцінки.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

 Використання результатів роботи доцільно провести на підприємствах авіаційної і космічної галузей промисловості України, а також при створенні об’єктів вітроенергетики і нової техніки.

  Дані про реєстрацію роботи: № 0115U002251

**РЕФЕРАТ**

 **Об’єкти дослідження** – в’язано-паяні мідні сітки із підвищеним ефектом дисипації енергії блискавки з використанням екологічно дозволених безсвинцевих припоїв.

**Мета роботи** – розробка науково-технологічних основ процесів виготовлення блискавкозахисних в’язано-паяних мідних сіток із підвищеним ефектом дисипації енергії блискавки з використанням екологічно дозволених безсвинцевих припоїв для виготовлення і ремонту елементів конструкцій із полімерних композитів у авіаційній техніці і вітроенергетиці.

**Методи дослідження** - оптична мікроскопія, фізико-механічні випробування, визначення змочування методом лежачої краплі з застосуванням способу капілярної очищення розплаву краплі, визначення електричного опору припоїв та сіток 4-х точковим методом, розрядні випробування дією імітованої блискавки на сертифікованому стенді в НДПКІ «Молнія».

Робота обумовлена необхідністю забезпечення надійної безаварійної роботи об’єктів авіаційної техніки в грозових умовах та запобігання руйнуванню вартісних вітроагрегатів, зокрема, вітролопатей. Завдяки використанню безсвинцевого припою виконуються умови екологічно безпечного виробництва і застосування у виробничих процесах в’язано-паяних сіток та розширення комерційної спроможності їх використання в об’єктах техніки.

Розроблені безсвинцеві припої для покриття мідних мікродротів і технологія виготовлення в’язано-паяних мідних сіток з безсвинцевими припоями з оптимальними структурно-ваговими параметрами. Встановлено, що крайові кути змочування мідних дротів зменшуються у разі використання безсвинцевих припоїв SAC(θ=23°) порівняно з припоєм ПОС-61 (θ=37°). Показано, що використання безсвинцевих припоїв призводить до зменшення товщини припійних прошарків у петельних вузлах і дає можливість зменшення ваги блискавкозахисного сітчастого покриття. на 10-15%.

За результатами стендових розрядних випробувань імітованою блискавкою при нормованих імпульсних режимах встановлено ефективність використання нових струмовідвідних матеріалів з безсвинцевими припоями. **Ключові слова: БЛИСКАВКОЗАХИСТ, В’ЯЗАНО-ПАЯНІ СІТКИ, МІДНІ МІКРОДРОТИ, БЕЗСВИНЦЕВИЙ ПРИПІЙ, ДИСИПАЦІЯ ЕНЕРГІЇ, ВУГЛЕЦЕВІ ДИСПЕРСНІ ЧАСТИНКИ, МОДИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ.**

 **Публікації**

 Патент України 64651. Блискавкозахисне  покриття, опубл. 15.09.2005, бюл. .№9. Вишняков Л.Р., Кохана І.М., Коханий В.О., Нешпор О.В., Казуров В.М., Бондар В.Г, Гринь Ю.Ф., Чернявський І.І.

Патент України 6198.  Блискавкозахисне покриття для агрегатів літального апарату, опубл. 29.12.1994, бюл. №8.  Вишняков Л.Р., Казуров В.М., Андреєв О.В,. Кохана І.М.

Патент України 50188. Спосіб пайки петель трикотажної сітки з мідного дроту, опубл. 25.05.2010, бюл. №10, Вишняков Л.Р., Коханий В.О.,  Нешпор О.В.,  Кохана І.М.

Патент України 95424. Спосіб виготовлення струмопровідного шару блискавкозахисного покриття, опубл. 25.07.2011, бюл. № 14, Вишняков Л.Р., Воропаєв В.С., Гогаєв К.О., Кохана І.М., Коханий В.О., Нешпор О.В.

Вишняков Л.Р. Разработка и внедрение вязано-паяных медных проволочных сеток для молниезащиты углепластиков в самолётостроении  // Технологические системы 2012,  №1 (58).– С.29-33.

Вишняков Л.Р., Чернявский И.И., Зубков О.В. Исследование возможности молниезащиты полимерных  композиционных материалов, армированных медной вязаной сеткой // Вісник інженерної Академії України, №2, 2012.– С.143-148.

Вишняков Л.Р., Коханий В.О., Кохана І.М., Нешпор О.В., Зубков О.В., Василенков Ю.М.  Вивчення деформаційних властивостей в’язано-паяних сіток при локальному нагріві / Труды 32 ежегодной Международной Н-Т конференции и блиц-выставка «Композиционные материалы в промышленности» (Славполиком), 4-8 июня 2012, Ялта, Крым.– С.128-129. 4-8 июня 2012, Ялта, Крым.– С.128-129.

Вишняков Л.Р., Коханая И.Н., Коханый В.А., Андриенко Е.М., Зубков О.В. Разработка и исследование молниезащитных трикотажных полотен из медной проволоки // Сборник трудов седьмой Международной конференции «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий» (МЕЕ-2012) Крым.–  262 с.

Вишняков Л.Р. Вязано-паяные медные сетки и углеродные наноструктурные частицы для молниезащиты композиционных материалов: опыт авиастроения для ветроэнергетики // Технологические системы, №2 (63) , 2013.– С 22-28.