

УДК 667.64:678.026

В. Скирденко

Херсонська державна морська академія

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ОПРОМІНЕННЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ

***Резюме.** Розроблено та виготовлено установку для високочастотного електромагнітного імпульсного опромінення композицій. Вона дозволяє дослідити вплив частоти, тривалості електромагнітного опромінення та напруженості поля на зміну властивостей епоксикомпозитів. За допомогою установки отримують високочастотне, модульоване за амплітудою, електромагнітне опромінення з частотою 0,7...4,5 МГц. Спроектвана установка для опромінення олігомерних композицій складається із задаючого генератора високочастотних коливань з параметричною стабілізацією частоти, що живиться від окремого стабілізованого джерела живлення з напругою 5 В, подвоювача частоти коливань, буферного підсилювача і підсилювача потужності. Подвоювач частоти і буферний підсилювач живляться від стабілізованого імпульсного джерела живлення з напругою 24 В і автоматичним захистом від перевантажень, у якому передбачено можливість модулювання електромагнітних коливань. Модулятор дозволяє модулювати високочастотні коливання. Він є генератором із широтно-імпульсним модулятором коливань, що утворюються у змінному індукторі. Даний індуктор разом із конденсатором утворює коливальний контур, налаштований на відповідну частоту опромінення.*

***Ключові слова:** установка для високочастотного електромагнітного імпульсного опромінення, епоксидні композиції, енергетичні поля, магнітне поле.*

V. Skyrdenko

HIGH-FREQUENCY EMP RADIATOR FOR EPOXY COMPOSITIONS

Summary. High-frequency EMP radiator for oligomeric compositions was designed and manufactured. It allows investigating the effect of frequency, duration and intensity of electromagnetic exposure and electric field intensity on the change of the epoxy composites properties. High-frequency range-modulated electromagnetic exposure with frequency of 0,7...4,5 MHz can be obtained.

EMP radiator for oligomeric compositions consists of driving high-frequency generator with parametric frequency stabilization, powered by a separate stabilized power supply with voltage of 5 V, frequency doubler, buffer amplifier and power amplifier. Frequency doubler and buffer amplifier is powered from stabilized switching power supply with 24 V voltage and automatic overload control, which has the ability for electromagnetic modeling. Modulator can produce high-frequency oscillations. The PWM oscillations are generated in a changeable inductor. Inductor and capacitor make an oscillating circuit adjusted to the appropriate exposure frequency. Oligomeric composition is placed into the antimagnetic inductor. Built-in high-frequency voltmeter controls the high voltage. Ray oscilloscope connected with a coupling loop controls the size and shape of modulated high-frequency oscillations. Delay relay is also mounted to regulate the duration of epoxy compositions irradiation.

Dynamics of adhesion and cohesive properties of composites contents of dispersed particles was investigated. According to the curves of adhesive, physical, mechanical and thermal properties of epoxy composites the existence of two peaks testifying the dependence of mechanisms of composite structure formation on their content, was proved to be available. It result in activation of interphase contact and causes the improvement of the material properties.

Key words: high-frequency EMP unit, epoxy composites, energy fields, magnetic field.

Постановка проблеми. Відомо [1], що адгезійна і когезійна міцності композитних матеріалів (КМ) суттєво залежать від хімічної активності поверхні наповнювача, реологічних властивостей зв'язувача та температурно-часових режимів їх формування. При відносній простоті реалізації технології нанесення і формування КМ слід звернути увагу на те, що цей процес є далеким від універсальності й придатний лише для обмеженої кількості інгредієнтів, які, в першу чергу, відзначаються активністю до олігомерного зв'язувача. Авторами [1–6] показано, що у зв'язку зі складністю процесів структуроутворення при формуванні епоксикомпозитів доцільно регулювати не лише температуру й часові параметри їх полімеризації, тиск і вологість навколишнього середовища, активність наповнювачів, але й враховувати вплив на композицію в цілому магнітних [1–3], електростатичних [2], радіаційних [5] полів, ультрафіолетового опромінення [6] та ультразвукової обробки [7]. Однак аналіз відповідної технічної літератури вказує на недостатнє висвітлення питань, пов'язаних із формування епоксикомпозитів, при попередньому їх опроміненні високочастотними електромагнітними хвилями. Особливо це стосується епоксидних КМ, наповнених дисперсними феромагнітними частками.

Аналіз досліджень і публікацій. Відомими способами модифікування епоксидних композицій є застосування для попередньої обробки компонентів гетерогенних систем різного роду енергетичних полів. У першу чергу до цього слід віднести такі енергетичні впливи: ультрафіолетове та радіаційне опромінення, електростатичне та магнітне поля, ультразвукову та електроіскрову обробка. При цьому їх вплив на композиції за експериментально встановлених температурно-часових параметрів та режимів фізичної активації (до введення твердника), як зазначено у праці [1], дозволяє комплексно поліпшувати як фізико-механічні, так і теплофізичні чи електричні властивості епоксидних КМ. При застосуванні в якості наповнювачів до епоксидного зв'язувача феромагнітних матеріалів особливу цікавість викликає попередня обробка гетерогенних композицій у магнітному полі з використанням при цьому необхідного устаткування та пристроїв.

Відомо [2], що установки для магнітно-імпульсної обробки матеріалів застосовуються, в основному, для деталей трубчастої форми з відповідними електричними і механічними властивостями. Найбільш ефективно піддаються обробці імпульсними магнітними полями матеріали з питомим електричним опором, який є більшим, ніж у 4 рази, від питомого електричного опору міді. При цьому використовують робочу частоту розрядного контуру установки 10...20 кГц. Для обробки матеріалів з низькою електропровідністю використовують магнітно-імпульсні установки з високою частотою розрядного контуру – 60...100 кГц [2].

Зазвичай, зазначені магнітно-імпульсні установки незалежно від їх призначення та прийнятої функціональної схеми розглядають як складові технологічного та енергетичного устаткування. Функціональну схему типового енергетичного устаткування наведено на рис.1 [2]. Конструктивні рішення установки та її елементів визначають, залежно від її призначення та умов роботи.

Комплекс досліджень у напрямку вивчення впливу постійного і височастотного магнітного полів на експлуатаційні характеристики полімерних КМ та захисних покриттів на їх основі провели автори [1, 3]. З цією метою було розроблено й виготовлено установку, блок-схем якої наведено на рис.2. Ця установка дозволяє обробляти як компоненти олігомерного зв'язувача, так і епоксидних композицій в цілому з різним вмістом дисперсного наповнювача. За допомогою установки створювали постійне магнітне поле з відповідним регулюванням глибини і частоти модуляції. Слід виокремити результати досліджень з метою визначення впливу магнітного поля на властивості епоксикомпозитів та покриттів на їх основі, що наведені у праці [3]. Для цього було спроектовано й виготовлено спеціальний пристрій, який передбачав зміну частоти магнітного поля, що створювали у робочому каскаді соленоїда за допомогою генератора ГЗ-33. Частоту магнітного поля змінювали у діапазоні 20 Гц...200 кГц з відповідним регулюванням індукції від 0,35 до 675 Тл.

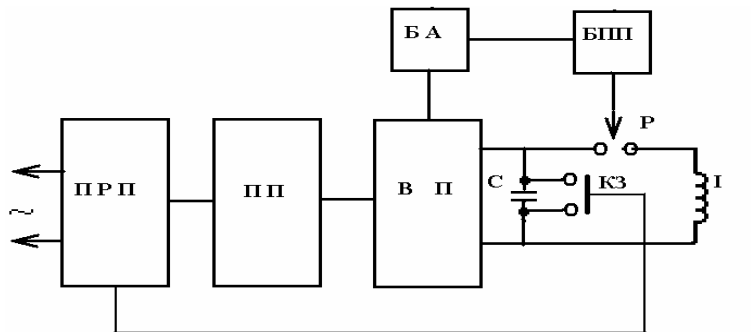


Рисунок 1. Функціональна блок-схема енергетичної частини магнітно-імпульсної установки: ПРП – пусковий регулювальний пристрій; ПП – підвищувальний пристрій; ВП – випрямляючий пристрій; БА – блок автоматики; БПП – блок підпалюючого пристрою; КЗ – короткозамикач; I – індуктор; P – комутуючий пристрій; C – ємність накопичувача

Figure 1. Functional block diagram of energy magnetic pulse settings: ПРП – starting adjuster; ПП – step-up device; ВП – rectifying device; БА – power automation; БПП – block device torching; БПП – block device torching; КЗ – latches; I – inductor; P – switching device; C – capacity drive

Серію установок для магнітної та магнітно-імпульсної обробки інструментальних матеріалів з метою дослідження питомої електропровідності та стійкості різальних інструментів було розроблено й виготовлено у Херсонському державному університеті. Вони дозволяють проводити обробку металів та сплавів постійним магнітним та магнітно-імпульсним полем з максимальною індукцією 0,65 Тл.

Загальний вигляд комплексу приладів та установки серії «Імпульс 0,65 Т» наведено на рис.3.

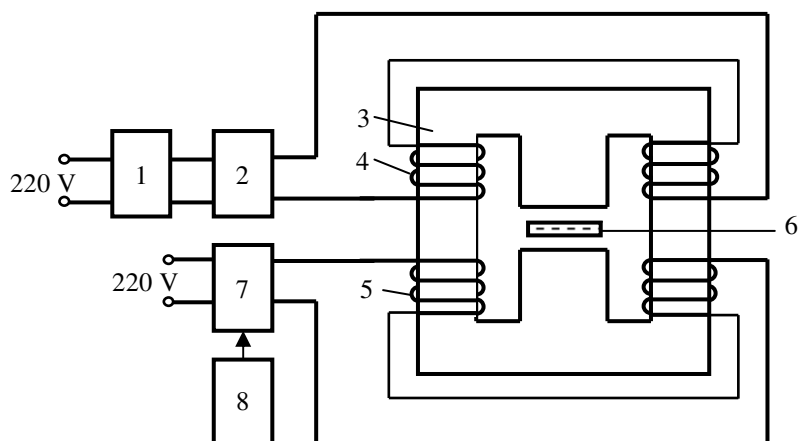
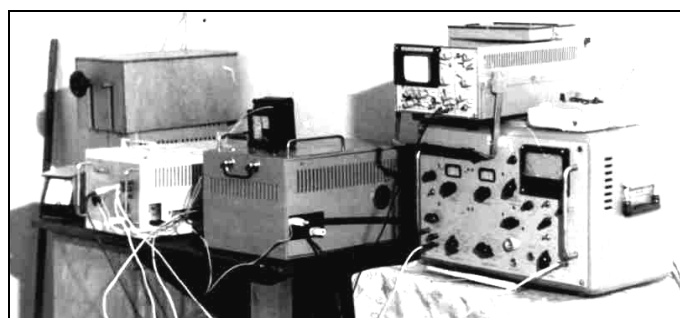


Рисунок 2. Блок-схема установки для магнітного оброблення композицій: 1 – генератор; 2 – підсилювач потужності; 3 – осердя магніту; 4 – робоча обмотка; 5 – обмотка підмагнічування; 6 – досліджувана композиція; 7 – блок живлення; 8 – блок керування

Figure 2. Block diagram of the apparatus for magnetic treatment tracks: 1 – generator; 2 – power amplifier; 3 – core magnet; 4 – working winding; 5 – winding magnetization; 6 – research composition; 7 – PSU; 8 – control unit



а)



б)

Рисунок 3. Комплекс приладів для проведення експериментальних досліджень (а) та установка серії «Імпульс 0,65 Т» для магнітної та магнітно-імпульсної обробки матеріалів (б)

Figure 3. A set of instruments for experimental research (a) and installation series «Momentum 0.65 T» for magnetic and magnetic-pulse treatment of materials (b)

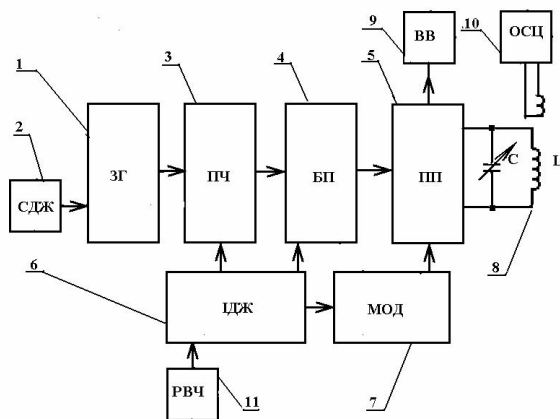
Виходячи з наведеного вище, можна стверджувати про широку гаму досліджень, проведених на сьогодні у напрямку вивчення впливу енергетичних полів, у тому числі й магнітного, на властивості епоксикомпозитів. Автори праць [1–6] довели, що такий енергетичний вплив на попередній стадії формування епоксидних матеріалів (до введення твердника) забезпечує не лише прогнозоване керування процесами структуроутворення, але й, як наслідок, підвищення експлуатаційних характеристик композитів. Водночас слід зазначити, що цікавим з наукової та практичної точок зору є проведення досліджень у напрямку впливу високочастотного електромагнітного імпульсного опромінення (ВЕІО) епоксидних композицій на властивості КМ. У зв'язку з цим у роботі розроблено установку для такого опромінення з можливістю регулювання частоти опромінення й індукції магнітного поля.

Мета роботи – розробити установку для високочастотного електромагнітного імпульсного опромінення епоксидних композицій з регульованими у широкому діапазоні робочими параметрами.

Обговорення результатів експерименту. Для дослідження впливу ВЕІО епоксидних композицій на фізико-механічні, електро- та теплофізичні властивості КМ у роботі спроектовано й виготовлено установку, яка дозволяє отримувати високочастотне, модульоване за амплітудою, електромагнітне опромінення з частотою 0,7...4,5 МГц. Блок-схема та загальний вигляд установки наведено на рис.4.

Спроекована установка для ВЕІО олігомерних композицій складається із задаючого генератора високочастотних коливань 1 з параметричною стабілізацією частоти, що живиться від окремого стабілізованого джерела живлення 2 з напругою 5 В, подвоювача частоти коливань 3, буферного підсилювача 4 і підсилювача потужності 5. Подвоювач частоти 3 і буферний підсилювач 4 живляться від стабілізованого імпульсного джерела живлення 6 з напругою 24 В і автоматичним захистом від перевантажень, у якому передбачено можливість модулювання електромагнітних коливань. Модулятор 7 дозволяє модулювати високочастотні коливання. Він є генератором із широтно-імпульсним модулятором коливань, що утворюються у змінному індукторі (L) 8. Даний індуктор разом із конденсатором ємністю C утворює коливальний контур, налаштований на відповідну частоту опромінення.

Олігомерну композицію під час опромінення вміщують в екранований від сторонніх електромагнітних випромінювань індуктор 8. Для цього у верхній частині установки, над індуктором 8, передбачено спеціальний отвір. Контроль високочастотної напруги в індукторі 8 здійснюють високочастотним вольтметром 9, який вбудовано в установку.



а)

б)

Рисунок 4. Блок-схема (а) та загальний вигляд установки (б) для високочастотного електромагнітного опромінення епоксидних композицій: 1 – задаючий генератор (ЗГ); 2 – стабілізоване джерело живлення (СДЖ); 3 – подвоювач частоти (ПЧ); 4 – буферний підсилювач (БП); 5 – підсилювач потужності (ПП); 6 – імпульсне джерело живлення (ІДЖ); 7 – модулятор (МОД); 8 – індуктор (L); 9 – високочастотний вольтметр (ВВ); 10 – осцилограф (ОСЦ); 11 – реле витримки часу (РВЧ)

Figure 4. Block diagram (a) and general view of the installation (b) high-frequency electromagnetic radiation epoxy compositions: 1 – asking generator (ЗГ); 2 – stabilized power supply (СДЖ); 3 – doubler frequency (ПЧ); 4 – buffer amplifier (БП); 5 – amp power (ПП); 6 – switching power supply (ІДЖ); 7 – modulator (МОД); 8 – inductor (L); 9 – high-voltmeter (ВВ); 10 – oscilloscope (ОСЦ); 11 – relay time delay (РВЧ)

Для безпосереднього контролю величини та форми високочастотних модульованих коливань передбачено використання променевого осцилографа 10, який під'єднано до установки за допомогою витка зв'язку. Додатково для регулювання тривалості ВЕІО епоксидних композицій в установку вмонтовано реле витримки часу 11.

Установка для високочастотного електромагнітного імпульсного опромінення олігомерних композицій працює наступним чином.

Стабілізоване джерело живлення 2 перетворює змінний струм з напругою 220 В у стабілізований постійний струм з напругою 5 В, від якого, у свою чергу, живиться задаючий генератор установки 1. Коливання, що створюються у задаючому генераторі 1, надходять до подвоювача частоти 3, який призначений для зменшення кількості гармонійних коливань і зменшення впливу підсилювача потужності на зміну частоти коливань задаючого генератора. Це, у свою чергу, сприяє також стабілізації частоти коливань. Буферний підсилювач 4 призначений для підсилення амплітуди високочастотних коливань та узгодження високого внутрішнього опору подвоювача частоти 3 із низьким внутрішнім опором підсилювача потужності 5. Підсилювач потужності 5 слугує для підсилення потужності високочастотних коливань. Навантаженням підсилювача потужності 5 є коливальний контур LC . Підсилювач потужності 5 і коливальний контур з'єднано за паралельною схемою живлення для усунення проходження постійного струму через індуктор 8. Коливальний контур налаштовується у резонанс за допомогою конденсатора змінної ємності C , що є частиною підсилювача потужності 5. Це дозволяє досягти резонансу, якщо зміниться індуктивність індуктора 8 під дією оброблюваного матеріалу. Налаштування підсилювача 5 і коливального контуру LC в резонанс відбувається за максимальними показами високочастотного вольтметра 9. Контроль амплітуди та форми коливань здійснюють осцилографом 10, до якого під'єднано виток зв'язку. Виток зв'язку на час налаштування або опромінення встановлюють у індукторі 8 установки.

Модуляцію високочастотних коливань здійснюють модулятором 7 установки.

Він є генератором із широтно-імпульсним модулятором коливань на інтегральному контролері моделі TL494. Контролер містить вбудований компаратор із еталонним джерелом живлення, що дозволяє отримати коливання постійної амплітуди з максимальною похибкою менше 5%.

Вбудований генератор пилкоподібної напруги для встановлення необхідної частоти потребує тільки двох зовнішніх компонент R і C . Частоту генератора визначали за формулою

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R \cdot C}.$$

Модуляцію ширини вихідних імпульсів досягали порівнянням позитивної пилкоподібної напруги, отриманої на конденсаторі C , із двома керуючими сигналами. Логічні елементи збуджують вихідними транзисторами за умови, коли лінія тактування вбудованого тригера перебуває в низькому логічному стані. Це відбувається тільки упродовж того часу, коли амплітуда пилкоподібної напруги є вищою від амплітуди керуючих сигналів. Отже, підвищення амплітуди керуючих сигналів викликає відповідне лінійне зменшення ширини вихідних імпульсів. Під керуючими сигналами розуміють напругу, вироблену схемою регулювання робочого часу й ланцюгом зворотного зв'язку.

Вхід компаратора регулювання має зсув 120 мВ, що обмежує мінімальний час на початку циклу (упродовж 4% його тривалості) на виході пилкоподібної напруги. Збільшити тривалість часу паузи на виході можна, регулюючи на вході час постійної напруги у діапазоні 0..3,3 В. Шім-компаратор регулює ширину вихідних імпульсів від максимального значення, зумовленого входом регулювання часу паузи, до нуля, коли напруга зворотного зв'язку змінюється від 0,5 до 3,5 В. Обидва підсилювачі помилки мають вхідний діапазон синфазного сигналу від -0,3 до 2 В і можуть використовуватися для зняття значень напруги або струму з виходу джерела живлення. Виходи підсилювачів помилки мають активний високий рівень напруги й об'єднані функцією. У такій конфігурації підсилювач, що вимагає мінімального часу для вмикання виходу, є домінуючим у петлі керування. Під час розряду конденсатора на виході компаратора регулювання генерується позитивний імпульс, що «тактує» тригер і блокує вихідні транзистори. Осцилограми модульованих електромагнітних коливань в індукторі при обробці епоксидної композиції за мінімального та максимального режиму роботи наведено на рис.5.

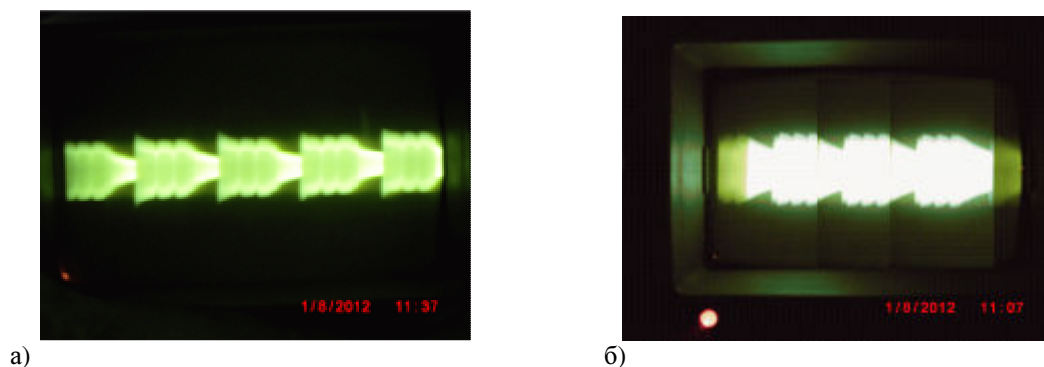


Рисунок 5. Осцилограми модульованих електромагнітних коливань в індукторі при обробці епоксидної композиції: а) частота коливань $\nu = 1$ МГц, тривалість імпульсу модуляції $t = 5$ мкс; б) частота коливань $\nu = 4$ МГц, тривалість імпульсу модуляції $t = 10$ мкс

Figure 5. Modulated electromagnetic waves in an inductor waveform in the processing of epoxy compositions: а) the oscillation frequency $\nu = 1$ MHz and pulse width modulation $t = 5$ microseconds; б) the oscillation frequency $\nu = 4$ MHz and pulse width modulation $t = 10$ microseconds

Імпульсне джерело живлення 6 перетворює струм з напругою 220 В у постійний струм з напругою 24 В, від якого, в свою чергу, живляться подвоювач частоти 3, буферний підсилювач 4, модулятор 7 та підсилювач потужності 5.

Реле витримки часу 11 слугує для встановлення часу опромінення композицій і забезпечує керування імпульсним джерелом живлення 6, вмикаючи чи вимикаючи живлення подвоювача частоти 3, буферного підсилювача 4, модулятора 7 і підсилювача потужності 5 через певні проміжки часу.

Висновки. Проаналізовано широкого спектру досліджень у напрямку розроблення установок для вивчення впливу енергетичних полів, у тому числі й магнітного, на властивості епоксикомпозитів. Показано, що такий енергетичний вплив на попередній стадії формування епоксидних матеріалів (до введення твердника) забезпечує не лише прогнозоване керування процесами структуроутворення, але й, як наслідок, підвищення експлуатаційних характеристик композитів.

Розроблено та виготовлено установку для високочастотного електромагнітного імпульсного опромінення, яка дозволяє дослідити вплив частоти, тривалості електромагнітного опромінення та напруженості поля на зміну властивостей епоксикомпозитів. За допомогою установки отримують високочастотне, модульоване за амплітудою, електромагнітне опромінення з частотою 0,7...4,5 МГц.

Conclusions. The analysis of a wide range of researches dealing with the development of installations for studying the influence of energy fields, magnetic field in particular, on the properties of epoxy composites, was carried out. It was shown that this energy influence at the pre-formation stage of epoxy materials (before the introduction of hardener) provides not only predictable control of the structure, formation process, but as a result, improves the composites operating characteristics.

Installation for high-frequency electromagnetic impulse exposure, which allows to investigate the influence of frequency, duration of electromagnetic exposure and the stress of field on the property epoxy composites changes was developed and produced. High-frequency range-modulated electromagnetic exposure with the frequency of 0,7 ... 4,5 MHz was obtained using this installation.

Список використаної літератури

1. Стухляк, П.Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями [Текст] / П.Д.Стухляк, А.В. Букетов, І.Г. Добротвор. – Тернопіль: Збруч, 2008. – 208 с.
2. Белый, И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов [Текст] / И.В. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хищенко. – Харьков: Выша школа, 1977. – 168 с.
3. Стухляк, П. Дослідження адгезійної міцності та залишкових напружень епоксикомпозитних матеріалів від обробки змінним магнітним полем низької частоти [Текст] / П. Стухляк, В. Карташов // Вісник ТНТУ. –2011. – Том 16, №1. – С. 50–56.
4. Букетов, А.В. Вплив міжфазної взаємодії на фізико-механічні властивості епоксикомпозитів [Текст] / А.В. Букетов // Машинознавство. – 2002. – №7. – С. 9–13.
5. Плескачевский, Ю.М. Введение в радиационное материаловедение композитов [Текст] / Ю.М. Плескачевский, В.В.Смирнов, В.М. Макаренко. – Минск: Наука і техніка, 1991. – 191 с.
6. Стухляк, П.Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані ультрафіолетовим опроміненням [Текст] / П.Д. Стухляк, А.В.Букетов. – Тернопіль: Збруч, 2009. – 237 с.
7. Трофимов, Н.Н. Применение ультразвука в технологии создания адгезионных соединений [Текст] / Н.Н. Трофимов, С.И. Пугачев. – Л.: ЛДНТП, 1979. –20 с.

Отримано 15.01.2013