

**Математичне моделювання процесів формування багатокомпонентних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації.**

**Математическое моделирование процессов формирования многокомпонентных полимерных композиционных материалов с применением направленной физико-химической модификации.**

**Mathematical modelling of forming processes of multicomponent polymeric composition materials by using of the directed physical and chemical modification.**

**1. Номер державної реєстрації теми - 0109U00037**

**2. Науковий керівник -** д.т.н., с.н.с. Колосов О.Є., Колосов А.Е., Kolosov Oleksandr Y.

**3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Вирішена важлива народногосподарська задача, пов'язана з розробленням наукових основ направленої застосування фізичної модифікації у вигляді ультразвукової дії в технології одержання широкого спектру виробів із багатокомпонентних епоксиполімерів, спрямованих на підвищення ефективності та досягнення ресурсо- та енергозбереження при їх одержанні.

Встановлено закономірності впливу параметрів УЗ-модифікації на експлуатаційні властивості епоксидних клейових композицій (ЕКК) на основі пластифікатора ДЕГ-1 та карбоксилвміщуючих каучуків. З'ясовано діапазон зміни параметрів УЗ-модифікації (частота, амплітуда, інтенсивність, температура, маса наважки), за яких досягається найбільше зміцнення затверділих ЕКК.

На основі використання математичних методів планування експериментів вперше створені адекватні статистичні моделі, які описують вихідні змінні у залежності від вхідних змінних, що отримані при розв'язанні наступних задач оптимізації: складу ЕКК, модифікованої карбоксилвміщуючими каучуками; прогнозування експлуатаційних властивостей ремонтної ЕКК на основі пластифікатора у вигляді ДЕГ-1 та карбоксилвміщуючих каучуків, отриманих з використанням УЗ-модифікації за атмосферного тиску. Отримані математичні залежності дозволяють прогнозувати властивості, а також спрямовано регулювати склад вихідних епоксидних композицій (ЕК) при здійсненні УЗ-модифікації.

Експериментально досліджено, що величиною УЗ-кавітаційної модифікації ЕК можна управляти шляхом підбору певних співвідношень між звуковим і статичним тиском. Вперше встановлено, що застосування ефективних параметрів об'ємного впливу низькочастотних і середньочастотних УЗК на рідинні ЕК в присутності як атмосферного, так і надлишкового тиску приводить до покращення експлуатаційних властивостей (міцність, деформація при розриві, температура склування) ненаповнених ЕП.

Завдяки комплексному використанню результатів виконаних наукових досліджень та запропонованих методик розроблені удосконалені технологічні засади та обладнання для з'єднання поліетиленових трубопроводів (ПЕТП) із застосуванням ЕКК та бандажування склострічкою. Розроблені технологічні засади та обладнання можуть бути використані для з'єднання ПЕТП при виконанні ремонту газу, -водопроводів та інших трубопровідних систем із ПЕТП.

**(рос.)**

Решена важкая народно хозяйственная задача, связанная с разработкой научных основ направленного применения физической модификации в виде ультразвукового действия в технологии получения широкого спектра изделий из многокомпонентных эпоксидных полимеров, направленных на повышение эффективности и достижение ресурсо- и энергоэкономии при их получении.

Выяснено влияние параметров УЗ-модификации на эксплуатационные свойства эпоксидных клеевых композиций (ЭКК) на основе пластификатора ДЭГ-1 и карбоксилсодержащих каучуков. Найдены параметры УЗ-модификации (частота, амплитуда,

интенсивность, температура, масса навески), при которых достигается наибольшее упрочнение затвердевших ЭКК.

На основе использования математических методов планирования экспериментов впервые созданы адекватные статистические модели, которые описывают выходные переменные в зависимости от входных переменных, которые получены при решении следующих задач оптимизации: состава ЭКК, модифицированной карбоксил содержащими каучуками; прогнозирование эксплуатационных свойств ремонтной ЭКК на основе пластификатора в виде ДЭГ-1 и карбоксил содержащих каучуков, полученных с использованием УЗ-модификации при атмосферном давлении. Полученные математические зависимости позволяют прогнозировать свойства, а также направлено регулировать состав исходных эпоксидных композиций (ЭК) при осуществлении УЗ модификации.

Экспериментально исследовано, что величиной УЗ кавитационной модификации ЭК можно управлять путем подбора определенных соотношений между звуковым и статическим давлением. Впервые установлено, что применение эффективных параметров объемного влияния низкочастотных и среднечастотных УЗК на жидкостные ЭК в присутствии как атмосферного, так и избыточного, давления приводит к улучшению эксплуатационных свойств (прочность, деформация при разрыве, температура стеклования) ненаполненных ЭП.

Благодаря комплексному использованию результатов выполненных научных исследований и предложенных методик разработанные усовершенствованы технологические принципы и оборудование для соединения полиэтиленовых трубопроводов (ПЭТП) с применением ЭКК и бандажированием стекло лентой. Разработаны технологические принципы и оборудование могут быть использованы для соединения ПЭТП при выполнении ремонта газо, -водопроводов и других трубопроводных систем из ПЭТП.

**(англ.)**

The important is decided folk economic task, related to development of scientific bases of the directed application of physical modification as an ultrasonic action in technology of receipt of wide spectrum of wares from much component epoxy polymers, directed on the increase of efficiency and achievement of resource and energy economies at their receipt.

Influence of parameters of ultrasonic modification is found out on operating properties of epoxy glue compositions (EGC) on the basis of plasticizer of DEG-1 and carboxyl rubbers. The parameters of ultrasonic modification (frequency, amplitude, intensity, temperature, mass of hinge-plate), which the most work-hardening of hardenings EKK is arrived at at, are found.

On the basis of the use of mathematical methods of planning of experiments adequate statistical models, which describe a weekend variables depending on entrance variables which are got at the decision of the followings tasks of optimization, are first created: composition of EGC, modified carboxylrubbers; prognostication of operating properties of repair EKK on the basis of plasticizer as DEG-1 and carboxyl rubbers, got with the use of uz-modifikation at atmospheric pressure. The got mathematical dependences allow to forecast properties, and also directionally to regulate composition of initial epoxy compositions (EC) during realization of BONDS of modification.

It is experimentally investigational, that by the size of bonds of cavity modification of EK it is possible to manage by the selection of certain betweenness by voice and static pressure. It is first set that application of effective parameters of by volume influence low frequency and midfrequency ultrasonic on a liquid EC in presence both atmospheric and surplus, brings pressures over to the improvement of operating properties (durability, deformation at a break, temperature of glassing) of not gap-filling EP.

Due to the complex use of results of the executed scientific researches and offered methods the developed is improved technological principles and equipment for connection of polyethylene pipelines (PEP) with the use of EGC and shrouding flowed a ribbon. Technological principles and equipment are developed can be utilized for connection of PEP at implementation of repair gass and plumbings and other pipeline systems from PEP.

**4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

1. Пат. на кор. мод. 39145 Україна, МПК (2009) C08J5/24. Спосіб просочення орієнтованих волокнистих наповнювачів епоксидними зв'язуючими / Колосов О.Є. - №u200810079; опубл. 10.02.2009, Бюл. №3.
2. Пат. на кор. мод. 39146 Україна, МПК (2009) C08J5/24. Спосіб ультразвукового виготовлення препрегу на основі епоксидних зв'язуючих і волокнистих наповнювачів / Колосов О.Є. - №u200810081; опубл. 10.02.2009, Бюл. №3.
3. Пат. на кор. мод. 39147 Україна, МПК (2009) C08J5/24. Спосіб фізичної модифікації епоксидних композицій / Колосов О.Є. - №u200810082; опубл. 10.02.2009, Бюл. №3.
4. Пат. на кор. мод. 39150 Україна, МПК (2009) B29B15/08. Спосіб ультразвукового просочування безперервних волокнистих наповнювачів полімерними зв'язуючими / Колосов О.Є. - №u200810150; опубл. 10.02.2009, Бюл. №3.
5. Пат. на кор. мод. 39648 Україна, МПК (2009) B05C3/02. Пристрій для дослідження кінетики поперечного просочення матеріалів на основі стрічкових тканих армуючих наповнювачів і полімерних зв'язуючих / Колосов О.Є. - №u200810132; опубл. 10.03.2009, Бюл. №5.
6. Пат. на кор. мод. 39649 Україна, МПК (2009) D06B1/00. Спосіб просочення довгомірних волокнистих наповнювачів полімерними зв'язуючими / Колосов О.Є. - №u200810148; опубл. 10.03.2009, Бюл. №5.
7. Пат. на кор. мод. 39730 Україна, МПК (2009) C08J5/00. Спосіб отримання високоміцного препрега на основі епоксидних зв'язуючих і волокнистих наповнювачів / Колосов О.Є., Сівецький В.І., Сахаров О.С. та ін. - №u200811799; опубл. 10.03.2009, Бюл. №5.
8. Пат. на кор. мод. 39733 Україна, МПК (2009) C08J5/24. Спосіб отримання препрега / Колосов О.Є., Сівецький В.І., Сахаров О.С. та ін. - №u200811805; опубл. 10.03.2009, Бюл. №5.
9. Пат. на кор. мод. 39729 Україна, МПК (2009) B05C3/00. Спосіб просочення орієнтованих волокнистих наповнювачів епоксидними зв'язуючими / Колосов О.Є., Сівецький В.І., Сахаров О.С. та ін. - №u200811798; заявл. 03.10.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. №5.
10. Пат. на кор. мод. 43672 Україна, МПК (2009) C08L63/00. Спосіб прогнозування властивостей епоксидної композиції, одержаної з використанням ультразвукової модифікації / Колосов О.Є. - №u2009 09203; заявл. 03.04.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл. №16.
11. Пат. на кор. мод. 43941 Україна, МПК (2009) C08L63/00. Спосіб ультразвукової модифікації епоксидної композиції / Колосов О.Є. - №u200909204; заявл. 03.04.2009; опубл. 10.09.2009, Бюл. №17.

## **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

В результаті виконання роботи вперше в Україні отримано нові наукові знання, що знаходяться на рівні кращих світових аналогів, результатом яких є теоретичні засади математичного та експериментально-статистичного моделювання процесів формування багатокомпонентних ПКМ за рахунок їх фізико-хімічної модифікації.

## **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Застосування розроблених технологічних засад та обладнання дозволяє знизити собівартість та підвищити якість виробів з багатокомпонентних епоксиолімерів. Крім того:

- розроблено нові технологічні засади та обладнання для одержання виробів з рідинних композицій ЕП УЗ-кавітаційною модифікацією, що дозволяють підвищувати технологічні характеристики ЕЗ та експлуатаційні властивості затверділих ЕП на їх основі при одночасному забезпеченні енергоощадності. Результатом цього є підвищення на (30 – 50)% змочувальної спроможності епоксидної матриці і покращення її гомогенізації, що сприяє більш швидкому і якісному просочуванню, а також збільшенню

адгезії затверділих ЕП до поверхні конструкційних матеріалів в середньому на (20 – 30)% при скороченні часу виготовлення затверділих ЕП у (2 – 2,5) рази;

- знайдено оптимальні режимні параметри процесу УЗ-модифікації рідких ЕК, а саме частота, амплітуда, інтенсивність, час, температура, тиск, які використовуються для детермінації конструктивно-технологічних параметрів реалізуючого УЗ-технологічного обладнання (ванн для об'ємного озвучування, просочувального, дозувального і активаційного обладнання);
- розроблено удосконалені технологічні засади та обладнання для формування із застосуванням низькочастотної УЗ-модифікації зміцнених імпортозаміщуючих термоосаджуючих муфт з ефектом пам'яті форми, що використовуються для з'єднання ПЕ- труб як окремо, так і разом з бандажуванням склострічкою, при здійсненні ремонту газо,- водопроводів та інших трубопровідних систем.

### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Можливі споживачі розробки - підприємства хімічної промисловості України, зокрема, ІХВС НАНУ, ВАТ "Завод ім. Антонова", ВАТ "Київський завод пластмас", Казенний завод порошкової металургії (м. Бровари), державне господарське об'єднання «Концерн «Техвоєнсервіс».

### **8. Стан готовності розробки.**

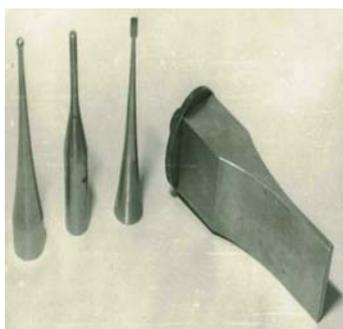
Розроблені технологічні засади та обладнання для формування виробів з багатокомпонентних епоксиполімерів, зокрема, зміцнених імпортозаміщуючих термоосаджуючих муфт з ефектом пам'яті форми, після їх адаптації до існуючого технологій і обладнання конкретного підприємства, можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

### **9. Існуючі результати впровадження.**

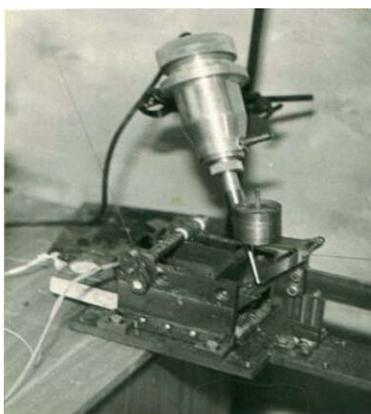
Попереднє впровадження розроблених технологічних засад та обладнання здійснено в державному господарському об'єднанні «Концерн «Техвоєнсервіс» та Філії «Науковий центр Концерну «Техвоєнсервіс» (м. Київ), на Казенному заводі порошкової металургії (КЗПМ, м. Бровари Київської області) при виготовленні склотекстоліту електроізоляційного марки СТЕФ із застосуванням УЗ-пристроїв на просочувально-сушильному обладнанні.

### **10. Назва організації, телефон, E-mail**

НТУУ"КПІ", інженерно-хімічний факультет, кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування, тел. (044) 236-95-48, e-mail: [a-kolosov@ukr.net](mailto:a-kolosov@ukr.net)



Експериментальні концентратори УЗ-коливачів



Макет пристрою для дослідження ефективності УЗ.



Муфто-клейові труби з'єднання з ЕП

### **11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки**

1. Колосов О.Є. Технологія одержання багатокомпонентних епоксиполімерів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації / Колосов О.Є., Сівецький В.І., Панов Є.М. — К: НТУУ КПІ, 2010. — 220 с.
2. Колосов О.Є. Обґрунтування застосування ультразвукової модифікації в базових технологіях одержання виробів з композицій епоксиполімерів / О.Є.Колосов // Вісник НТУУ КПІ. Сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2009. — № 2 (4). — С. 32—36.
3. Колосов О.Є. Аналіз структурних моделей капілярно-пористих тіл / О.Є.Колосов // Вісник НТУУ КПІ. Сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2010. — № 1 (5). — С. 13—16.
4. Колосов О.Є. До вибору фізичної моделі капілярно-пористого середовища на основі орієнтованих волокнистих наповнювачів / О.Є.Колосов // Вісник НТУУ КПІ. Сер. «Машинобудування». — 2010. — №59. — С. 96—101.
5. Колосов О.Є. Енергоощадне одержання виробів із композицій епоксидних полімерів із застосуванням ультразвуку//Вісник НТУУ «КПІ», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». — 2010. — №2(6). — С. 82-86.
6. Колосов А.Е. Эффективные технические средства для соединения и ремонта полиэтиленовых трубопроводов с применением ультразвуковой модификации и термоусадки. 1. Аспекты соединения и восстановления полимерных трубопроводов для транспортировки газа / А.Е.Колосов, В.И.Сивецкий, А.С.Сахаров и др. // Химическое и нефтяное машиностроение (Москва). — 2011. — №3. — С. 36-39.
7. Колосов А.Е. Эффективные технические средства для соединения и ремонта полиэтиленовых трубопроводов с применением ультразвуковой модификации и термоусадки. 2. Технологические основы формирования эпоксидных ремонтных муфт с эффектом памяти формы / А.Е.Колосов, В.И.Сивецкий, А.С.Сахаров и др. // Химическое и нефтяное машиностроение (Москва). — 2011. — №3. — С. 40-43.
8. Колосов А.Е. Эффективные технические средства для соединения и ремонта полиэтиленовых трубопроводов с применением ультразвуковой модификации и термоусадки. 3. Анализ методов обработки поверхности соединяемых полиэтиленовых труб с использованием бандажирования / А.Е.Колосов, В.И.Сивецкий, А.С.Сахаров и др. //Химическое и нефтяное машиностроение (Москва). — 2011. — №3. — С. 44-48.
9. Колосов А.Е. Эффективные технические средства для соединения и ремонта полиэтиленовых трубопроводов с применением ультразвуковой модификации и термоусадки. 4. Особенности практической реализации разработанных технологических основ с использованием эпоксидных клеевых композиций и бандажирования / А.Е.Колосов, В.И.Сивецкий, А.С.Сахаров и др. //Химическое и нефтяное машиностроение (Москва). — 2011. — №4. — С. 41-43.
10. Колосов А.Е., Сівецький В.І., Сахаров О.С., Сідоров Д.Е., Пристайлов С.О. Эффективные технические средства для соединения и ремонта полиэтиленовых трубопроводов с применением ультразвуковой модификации и термоусадки. 5. Аспекты применения терморезисторных муфт и деталей при ремонте газопроводов / А.Е.Колосов, В.И.Сивецкий, А.С.Сахаров и др. //Химическое и нефтяное машиностроение (Москва). — 2011. — №4. — С. 44-48.
11. Колосов О.Є. Оцінка просочуваності немодифікованих неперервних волокнистих наповнювачів під дією звукокапілярного ефекту//Вісник НТУУ «КПІ», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». — 2011. — №1(7). — С.14-17.
12. Колосов О.Є. Методика прогнозування експлуатаційних властивостей затверділих епоксидних полімерів, одержаних на основі епоксидних композицій з використанням ультразвуку, та особливості її патентування/ О.Є.Колосов, В.І.Сівецький, О.С.Сахаров та ін. //Збірник наукових праць Луцького НТУ «Наукові нотатки». — 2011. - №32. - С. 174—184.

13. Колосов О.Є., Сівецький В.І., Луговська К.О. Методики розрахунку конструктивних параметрів і перевірки працездатності ультразвукового кавітаційного пристрою та особливості їх патентування / О.Є.Колосов, В.І. Сівецький, К.О.Луговська // Вісник НТУУ КПІ. Сер. Машинобудування». – 2011. - №63.- С. 53—60.
14. Колосов О.Є. Розроблення і патентування методики розрахунку ультразвукового кавітаційного пристрою з випромінюючою пластиною, що використовується для ультразвукової модифікації рідких епоксидних композицій та інтенсифікації процесів просочування і дозованого нанесення / О.Є. Колосов // Прогресив-на техніка і технологія—2009: X міжнар. конф.:тез. доп. - Севастополь, 2009. — С. 92.
15. Колосов О.Є. Обґрунтування фізичної моделі ультразвукової модифікації рідинних епоксидних композицій за варіації частотних діапазонів і статичного тиску / О.Є. Колосов // Композиційні матеріали: V міжнар. наук.-техн.WEB-конф.: тез. доп. — Київ, 2010. — С. 69—71.
16. Колосов О.Є. Аспекти патентування результатів математичного моделювання процесів формування багатокомпонентних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації/О.Є. Колосов//Композиційні матеріали: IV міжнар. наук.-техн. інтернет-конф.: тез. доп. — Київ, 2009. — С. 103—104.
17. Колосов О.Є. Аспекти математичного моделювання процесів формування багатокомпонентних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації/О.Є.Колосов В.П.Сербін, Р.В.Сербіна та ін.//IV міжнар. наук.-техн. конф. "Композиційні матеріали": тез. доп. — Київ, 2009. — С. 73—74.
18. Колосов О. Є. До вибору фізичної моделі капілярно-пористого середовища на основі орієнтованих волокнистих наповнювачів / О. Є. Колосов, В. В. Кудряченко, О. П. Колосова та ін. // Прогресивна техніка і технологія—2010: XI міжнар. конф.: тез. доп. — Київ, 2010. — С. 70—71.
19. Колосов О. Є. Обґрунтування фізичної моделі ультразвукової модифікації рідинних епоксидних композицій за варіації частотних діапазонів і статичного тиску / О. Є. Колосов // Композиційні матеріали: V міжнар. наук.-техн. WEB-конф.: тез. доп. — Київ, 2010. — С. 69—71.
20. Колосов О.Є. Обґрунтування процесів та обладнання для одержання виробів з композицій епоксиполімерів ультразвуковою модифікацією: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. докт. техн. наук: спец. 05.17.08 «Процеси та обладнання хімічної технології» / О.Є. Колосов. – К., 2010. – 36 с.