

Розроблена методика досліджень і відповідний експериментальний стенд дозволив провести ретельне вивчення процесів, що відбуваються як в моменти взаємодії одиночних крапель рідини з твердою поверхнею, так і відразу ж після взаємодії крапель рідини з цією поверхнею.

Розміри первинних крапель визначалися, як безпосередньо фотографуванням, так і лічильно-об'ємним методом.

В результаті підбору параметрів імпульсів, точного фіксування положення краплі по висоті і по відношенню до ударної поверхні (тобто точного фіксування фаз процесу) вдалося зареєструвати події, які відбуваються при взаємодії крапель рідини з твердою поверхнею при різних умовах.

Характер руйнування краплі, яка не змінює свою форму і руйнується тільки в зоні контакту - це не що інше, як крихке руйнування речовини в зоні контакту поверхні краплі і твердої поверхні.

Внаслідок обумовленого інерційними властивостями краплі при зіткненні краплі з твердою поверхнею в зоні контакту виникає високий тиск (напруга) і велика потенційна енергія, яка перетворюється в кінетичну енергію частинок рідини, що вилітають з області контакту. Тому при ударній взаємодії в зоні контакту швидкість викиду рідини в багато разів перевищує відносну швидкість зіткнення краплі з поверхнею.

Руйнування крапель названо як ударно-вибухове диспергування рідини. Цей же процес можна назвати і ударно-імпульсним руйнуванням рідини або імпульсним введенням енергії в краплі рідини (дійсно, при швидкому ударі краплі і твердої поверхні відбувається істинно імпульсна введення енергії в краплю).

Для дослідження області, в якій відбувається ударно-вибухове руйнування крапель рідини (диспергування) досліджувалися взаємодії крапель води з ударними поверхнями з вуглецевої і нержавіючої сталі, з титану, алюмінію, фторопласту та ін., А також з різною якістю обробки поверхні.

Одночасно вивчалися і реєструвалися картини ударно-вибухового диспергування крапель інших рідин: водних розчинів гліцерину, молока, трансформаторного масла.

Всі дослідження показали, що характер ударно-вибухового диспергування при відповідних швидкостях абсолютно аналогічний для всіх досліджених рідин, матеріалів ударних поверхонь і їх якості.

#### Список використаних джерел

1. *Ефимов В.М., Искольдский А.М., Нестерихин Ю.Е. Электронно-оптическая фотосъемка в физическом эксперименте.* Новосибирск, Наука,- 1978.- с.176.
2. *Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика.* - М.: АН СССР,- 1952.- 538 с.
3. *Генлейн А. Распад струи жидкости // Двигатели внутреннего сгорания.*- М.: ОНТИ,- 1936.- т.1.

**УДК 514.18 : 678.5.05**

**Колосова О. П.**, к.т.н., доцент, **Ванін В. В.**, д.т.н., професор, **Колосов О. Є.**, д.т.н., с.н.с.,  
**Сівецький В.І.**, к.т.н., професор  
КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна

### **ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ ЯК ЕФЕКТИВНОГО МЕТОДУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КЛАСИЧНИХ ТА НАНОМОДИФІКОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Анотація.* Розглянуті аспекти використання низькочастотного ультразвуку в режимі кавітації як домінуючого методу при виробництві класичних та наномодифікованих вуглецевими наповнювачами полімерних композитних матеріалів. Описано розроблений вдосконалений метод для вибору ефективних проектних і експлуатаційних параметрів для обладнання, що використовується для ультразвукової модифікації рідких

полімерних композитів і волокнистих наповнювачів. Зазначено, що розроблений метод дозволяє зробити ультразвукову обробку більш продуктивною і прискорити процеси просочення та дозування в процесі формування класичних та наномодифікованих полімерних композитних матеріалів. Обґрунтовано доцільність використання ультразвукової модифікації рідких епоксидних композицій для досягнення енергозбереження та поліпшення якості реактопластичних полімерних композиційних матеріалів.

**Ключові слова** – моделювання, ультразвук, кавітація, полімер, реактопласт, композит

Технології і устаткування для формування виробів з традиційних та інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів є останнім трендом у напрямку «інтелектуалізації» традиційних та старт-матеріалів [1-4]. При цьому шляхи розробки вдосконалених процесів і виробничих потужностей для кавітаційної обробки, що передбачає генерацію ультразвукових (УЗ) коливань, необхідних для конкретних процесів, зокрема, різної частоти, інтенсивності, амплітуди, часу, температури і тиску, на цей час є важливими чинниками підвищення якості таких матеріалів.

Проблемні ситуації для базового виробничого циклу підготовки армованих об'єктів з композитних епоксидних полімерів (ЕП) розглядаються в роботах [5-9]. Зокрема, в роботах [5-7] було досліджено три альтернативні схеми УЗ-просочення. Описано підхід до автоматизованого проектування із застосуванням принципів, що базуються на методології структурно-параметричного геометричного моделювання для визначення структурних і технологічних параметрів технічних способів формування ПКМ з використанням УЗ-обробки. Розроблено загальну структурно-параметричну модель для процесу виготовлення композитного волокнистого матеріалу, представленого у вигляді трьох ущільнених блоків: УЗ-обробки епоксидної смоли; просочення ЕК волокнистого матеріалу; дозованого нанесення ЕК на просочений волокнистий матеріал.

Експериментально встановлені оптимальні режимні параметри УЗ: частота, амплітуда, інтенсивність і час. Оптимізація проводилася на основі дослідження взаємозв'язків між значеннями міцності при розтягуванні, стисканні, згинанні та міжшаровий зсув, а також відносного вмісту наповнювача як функції параметрів обробки. Показано, що відхилення параметрів УЗ від оптимального діапазону призводить до зниження характеристик міцності, а також до різного характеру руйнування зразка при розтягуванні та міжшаровому зсуві.

Розроблено вдосконалений метод для вибору ефективних проектних і експлуатаційних параметрів обладнання, що використовується для УЗ-модифікації рідких полімерних композитів і волокнистих наповнювачів. Метод призначений для того, щоб зробити УЗ-обробку більш продуктивною і прискорити процеси просочення й дозування в процесі формування полімерних композитів. Обґрунтовано доцільність використання УЗ-модифікації для досягнення енергозбереження та поліпшення якості сформованих об'єктів у вигляді реактопластичних полімерних композиційних матеріалів (ПКМ).

Відомі ефективні способи обробки рідких реактопластичних середовищ (епоксидні олігомери та епоксидні композиції - ЕК) при виробництві класичних і наномодифікованих ПКМ з використанням низькочастотної УЗ-модифікації для поліпшення експлуатаційних властивостей ПКМ аналізуються в роботах [10-16], де наведено результати ряду експериментальних досліджень. Це, зокрема, результати щодо впливу низькочастотного режиму УЗ-обробки на реактопластичні ПКМ (незаповнені та наповнені коротковолокнистими наповнювачами, у т.ч. вуглецевими нанотрубками). Наведено приклади ефективної УЗ-обробки за розробленою технологією порівняно з відомими методами.

Також у цих роботах зазначено основні передумови використання УЗ-обробки для інтенсифікації виробництва реактопластичних ПКМ, зокрема, основних фізичних і хімічних ефектів, що виникають при пульсаціях парових і газових бульбашок з кавітаційною дією, а також досліджено вплив параметрів УЗ-обробки на міцнісні властивості епоксидних сполучних і ПКМ.

Роль симетрії в формуванні об'єктів та процесів, включаючи дослідження процесу низькочастотної УЗ-кавітації у рідких ЕК, розглянуто в роботі [17].

#### Список використаних джерел

1. *Сівецький В. І.* Технології і устаткування для формування виробів з традиційних та інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів [текст]: монографія / В.І. Сівецький, О.С. Колосов, О.Л. Сокольський, І.І. Івіцький. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2017. – 120 с.
2. *Kolosov A.E., Sivetskii V.I., Vanin V.V., Kolosova E.P., Sokolskii A.L., Ivitskiy I.I.* Intellectual Technologies in Industry and Aerospace Complex // Тез. доп. VIII Всемирного конгреса «Авиация в XXI столетии» – «Безопасность в авиации и космические технологии». - Київ, 10-12.10.2018. — С. 2.1.128 – 2.1.130.
3. *Kolosov A.E., Sivetskii V.I., Vanin V.V., Kolosova E.P., Sokolskii A.L., Ivitskiy I.I.* Aspects of Intellectualization of Polymer Composite Materials // Тез. доп. VIII Всемирного конгреса «Авиация в XXI столетии» – «Безопасность в авиации и космические технологии». - Київ, 10-12.10.2018. — С. 2.1.131 – 2.1.133.
4. *Kolosov A.E., Kolosova E.P., Vanin V.V., Anish Khan.* Classical Thermoset Epoxy Composites for Structural Purposes: Designing, Preparation, Properties and Applications. In: Thermoset Composites: Preparation, Properties and Applications. Eds. Anish Khan, Showkat Ahmad Bhawani and Abdullah M. Asiri, 2018. Materials Research Forum LLC, Materials Research Foundations, 2018, 38. Pp. 260–299. doi: <http://dx.doi.org/10.21741/9781945291876-9>
5. *A.E. Kolosov, G.A. Virchenko, E.P. Kolosova, S.L. Shambina.* Simulation of the Parameters of an Ultrasonic Dosed Cavitator with Radiative Plate. Part 1. Analysis of Effective Technical Means of Ultrasonic Exposure and a Technique of Variant Structural-Parametric Design // Chemical and petroleum engineering. – 2018. – Vol. 54. – Nos. 7-8. – Pp. 531-541. <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0513-0>
6. *G.A. Virchenko, A.E. Kolosov, E.P. Kolosova, S.G. Virchenko.* Simulation of the Parameters of Ultrasonic Dosing Device with Radiative Plate. Part 2. Optimization of Design and Technological Parameters // Chemical and petroleum engineering. – 2018. – Vol. 54.– Nos. 7-8.– Pp. 605-612. <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0522-z>
7. *V.V. Vanin, G.A. Virchenko, A.E. Kolosov, E.P. Kolosova.* Simulation of the parameters of ultrasonic dosing cavitation device with radiative plate. Part 3. Computer-Aided Variant 3D-Design // Chemical and petroleum engineering. – 2019. – Nos. 1. – Pp. 1– 7. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10556-019-00535-7>
8. *Колосов О.С.* Некоторые аспекты геометрического моделирования технических объектов и процессов формирования полимерных композитов. 1. Моделирование структуры ориентированных макроволокнистых композитов / О.С. Колосов, О.П. Колосова, В.В. Ванін // Вчені записки Таврійського нац. університету імені В.І. Вернадського. Сер.: Технічні науки. – 2018. – Том 29 (68). – № 3. – Ч.1. – С. 1–7. [http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/3\\_2018/part\\_1/3.pdf](http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/3_2018/part_1/3.pdf)
9. *Колосов О.С.* Некоторые аспекты геометрического моделирования технических объектов и процессов формирования полимерных композитов. 2. Моделирование структуры дисперснонаполненных реактопластов, а также проектирование технологии и оборудования для формирования полимерных композитов / О.С. Колосов, О.П. Колосова, В.В. Ванін // Вчені записки Таврійського нац. університету імені В.І. Вернадського. Сер.: Технічні науки. – 2018. – Том 29 (68). – № 4. – Ч.1. – С. 7–14. [http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/4\\_2018/part\\_1/4.pdf](http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/4_2018/part_1/4.pdf)
10. *Kolosov A.E., Kolosova E.P.* Chapter 2. Functional Materials for Construction Application Based on Classical and Nano Composites: Production and Properties. In: Recent Developments in the Field of Carbon Fibers. Eds. Rita Khanna, Romina Cayumil. InTechOpen, 2018. – Pp. 9–31. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73393>
11. *Kolosov A.E., Kolosova E.P., Vanin V.V., Anish Khan.* Chapter 25. Ultrasonic Treatment in the Production of Classical Composites and Carbon Nanocomposites. In: Nano Carbon And Its Composites: Preparation, Properties and Applications. 1<sup>st</sup> edition. Eds. Anish Khan, S. Mohammad Jawaid, Inamuddin, Abdullah M. Asiri. - Woodhead Publishing (imprint of Elsevier). – 2019. – Pp. 733-780. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102509-3.00025-0>
12. *Kolosov A.E., Kolosova E.P.* Short Review of Studies on Modeling of Technology and Technical Means Used for Production of Classical and Nanomodified Functional Polymer Composite Materials // International Journal of Engineering & Technology. 2018. - Vol. 7, No. 2.23. - Pp. 483-488. <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/15339/6349>
13. *Колосов А.Е.* Некоторые аспекты создания функциональных полимерных композиционных материалов конструкционного назначения // Вчені записки Таврійського нац. університету імені В.І. Вернадського. Сер.: Технічні науки. – 2018. – Том 29 (68). – № 3. – Ч.2. – С. 132 – 136. [http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/3\\_2018/part\\_2/25.pdf](http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/3_2018/part_2/25.pdf)
14. *Anish Khan, Fayaz Ali, Aftab Aslam Parwaz Khan, Kolosov A.E., Abdullah M. Asiri.* Ion Exchange Materials and Their Applications. In: Development and Prospective Applications of Nanoscience and Nanotechnology. Bentham Science. 2018, Vol. 2, pp. 191-217. <http://www.eurekaselect.com/164429/chapter/ion-exchange-materials-and-their-application>
15. *Anish Khan, Aftab Aslam Parwaz Khan, Mohammed Omaish Ansari, Imran Khan, Kolosov A.E., Abdullah M Asiri.* Chapter 8. Functionalized Graphene Aerogel: Structural and Morphological Properties and Applications. In:

Functionalized Graphene Nanocomposites and Their Derivatives: Synthesis, Processing and Applications. Micro and Nano Technologies. Mohammad Jawaid, Rachid Bouhfid and Abou el Kacem Qaiss (Eds.). Bentham Publisher (imprint of Elsevier). 2019. Pp. 157-176. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814548-7.00008-8>

16. Kolosov A.E., Kolosova E.P. Modification of Oligomers and Reinforced Polymeric Composites by Carbon Nanotubes and Ultrasonic. Environmental Nanotechnology. – Ser.: Environmental Chemistry for a Sustainable World. - Eds. Raghvendra Mishra, Shivendu Ranjan, Nandita Dasgupta, Ravindra V. Singh, and Eric Lichtfouse. - Springer. - 2019. - Volume 3.

17. Колосова О.П. Роль симетрії в формуванні об'єктів та процесів / О.П.Колосова, В.В. Ванін // Збірник наукових праць Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького «Сучасні проблеми моделювання». – 2018. – Вип. 1. – С. 88–94.

**УДК 532.516**

**Весков Е.В.**, начальник группы ГП «КБ «Южное»

ГП «КБ «Южное», г.Днепропетровск, Украина

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА В ПРИСУТСТВИИ НЕКОНДЕНСИРУЮЩЕГОСЯ ГАЗА В КОРОТКОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЕ**

*Испарение и конденсация играют очень важную роль в промышленных процессах, таких как отвод тепла от энергетических установок и микросхем. Проведено большое количество экспериментов с целью объяснения явлений испарения и конденсации. Тем не менее, исследование этих явлений экспериментальными методами затруднительно. Поэтому необходимо проводить численное моделирование в дополнение к экспериментам. Численное моделирование может способствовать лучшему пониманию сложного процесса испарения и конденсации. Целью работы являлось определение скорости образования конденсата в теплообменнике с горизонтальной трубой, расположенной в прямоугольном канале. Для моделирования двухфазного течения и теплообмена внутри теплообменника применялась модель расчета конденсации пара с учетом теплообмена с жидкостью, реализованная в ANSYS FLUENT с помощью функций пользователя.*

Ключевые слова: теплообменник, condenser, vapor condensation, heat transfer, ANSYS Fluent.

Конденсация пара в присутствии неконденсирующегося газа привлекает интерес многих исследователей [1], [2], [3]. Механизм переноса в гидродинамической системе чрезвычайно сложен, так как массовый и тепловой потоки газовой фазы зависят от теплообмена с жидкой фазой. Теоретические [1] и экспериментальные [2] исследования данной задачи рассматривают конденсацию на вертикальной плоской пластине или систему пар-воздух без учета теплообмена с жидкостью.

Рассматривается модель расчета конденсации пара с учетом теплообмена с жидкостью, которая реализована в ANSYS FLUENT с помощью функций пользователя [1]. Валидация модели проведена в [1] и [2] для задачи конденсации пара на вертикальной стенке и в пароконденсаторах цилиндрической формы [2]. В данной работе модель применяется к расчету конденсации пара в теплообменнике с горизонтальной трубой, расположенной в прямоугольном канале [3].

Уравнение сохранения для  $i$ -го компонента смеси:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i, \quad (1)$$

где  $t$  - время, с;  $\vec{v}$  - скорость смеси, м/с;  $\rho$  - плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $Y_i$  - массовая доля  $i$ -го компонента смеси;  $R_i$  - скорость прироста массы  $i$ -го компонента смеси;  $S_i$  - источниковый член для  $i$ -го компонента смеси;  $\vec{J}_i$  - диффузионный поток  $i$ -го компонента смеси.

Уравнение движения смеси:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g}, \quad (2)$$