

# ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКСТРАГЕНТІВ НА ВИНИКНЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ КАВІТАЦІЇ ПРИ ЕКСТРАГУВАННІ БАР З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Остапенко Ж.І., Ружинська Л.І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, zhanna.ost@gmail.com

**Вступ.** Ультразвукова кавітація може виникнути в рідині або газі при наявності акустичних хвиль з достатньо високою інтенсивністю. Зазвичай ця інтенсивність становить 10 - 100 Вт/см<sup>2</sup> і залежить від таких факторів, як частота ультразвуку, тиск, температура і склад рідини.

В процесі ультразвукової кавітації наявні в рідині газові бульбашки можуть зменшуватись в розмірі, зриватись або об'єднуватись, що призводить до створення тиску. Виниклий тиск може призвести до розриву міцних зав'язків в рідині або газі. Цей процес може спричиняти різні хімічні і фізичні ефекти, такі як видалення забруднень з поверхні, зміна розміру частинок, підвищення температури та інші.

Ультразвукова кавітація є відомим методом інтенсифікації процесу екстрагування в системі тверде тіло – рідина. При екстрагуванні біологічно активних речовин (БАР) з рослинної сировини найбільш поширеними екстрагентами виступають вода та розчини етанолу різної концентрації.

Метою дослідження є встановлення впливу фізичних властивостей екстрагентів на виникнення ультразвукової кавітації.

**Матеріали та методи.** Процес екстрагування БАР з рослинної сировини пов'язаний з проникненням екстрагенту в сировину під впливом капілярних сил. Характерною особливістю рослинної сировини є велика кількість пор капілярного типу. Проникнення екстрагенту в сировину відбувається по капілярах і призводить до заповнення в ній клітин і пустот. Процес заповнення капілярів і пустот клітин екстрагентом може бути досить тривалим і суттєво збільшувати час екстрагування в цілому. [1]

Екстрагування фітопрепаратів проводять переважно з подрібненого і висушеного рослинного матеріалу. При сушінні в рослинних матеріалах відбуваються зміни. Клітковий сік перетворюється в сухий залишок, внутрішня частина клітини заповнена повітрям. Стінки клітини і мембрани органодів клітини після сушіння перетворюються в пористі перетинки. В процесі попереднього намочування проникнення екстрагента в сировину відбувається за рахунок капілярних сил. Намочування зв'язане з швидкістю витиснення повітря з клітин.

Одним з ефектів, що спостерігається при використанні ультразвукового випромінювання, є прискорення проникнення екстрагента в сировину. Під дією кавітації, що виникає в ультразвуковому полі, проникнення екстрагента у вузькі порожнини і щілини прискорюється і поглиблюється.

Фізичні властивості рідини можуть впливати на виникнення ультразвукової кавітації, оскільки вони визначають поведінку рідини під дією ультразвукових хвиль.

Густина та поверхневий натяг рідини можуть впливати на формування та розпад бульбашок газу. Наприклад, рідини з високою густиною можуть мати меншу кількість бульбашок газу, оскільки вони не можуть легко змінювати свою форму. З іншого боку, рідини з високим поверхневим натягом можуть мати більше бульбашок газу, оскільки цей ефект може сприяти формуванню бульбашок.

Для виникнення ультразвукової кавітації в рідині повинні бути парогазові бульбашки, розмір яких перевищує  $R_{кр, м}$  [2]:

$$R_{кр} = \sqrt{3} \cdot R_o \cdot \left[ \frac{R_o}{2\sigma} \cdot \left( P_{ст} + \frac{2\sigma}{R_o} \right) \right]^{1/2},$$

де  $P_{ст}$  - гідростатичний тиск, Па;

$\sigma$  - коефіцієнт поверхневого натягу екстрагенту, Н/м;

$R_o$  - початковий радіус бульбашки, м.

На виникнення ультразвукової кавітації також впливає значення густини акустичної енергії  $W_{уз}$ , Дж/м<sup>3</sup>, що відображає кількість енергії, що переноситься звуковою хвилею через певний об'єм простору [2]:

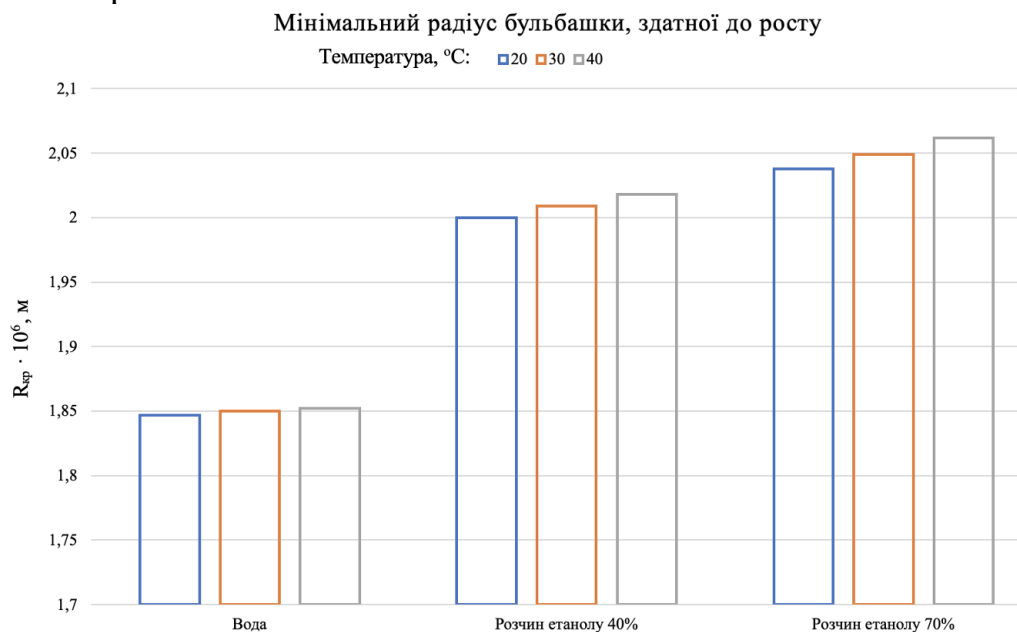
$$W_{уз} = \frac{P_{то}}{2 \cdot \rho \cdot c^2},$$

де  $P_{то}$  – амплітуда тиску звукової хвилі на рівні зрізу капіляру, Па;

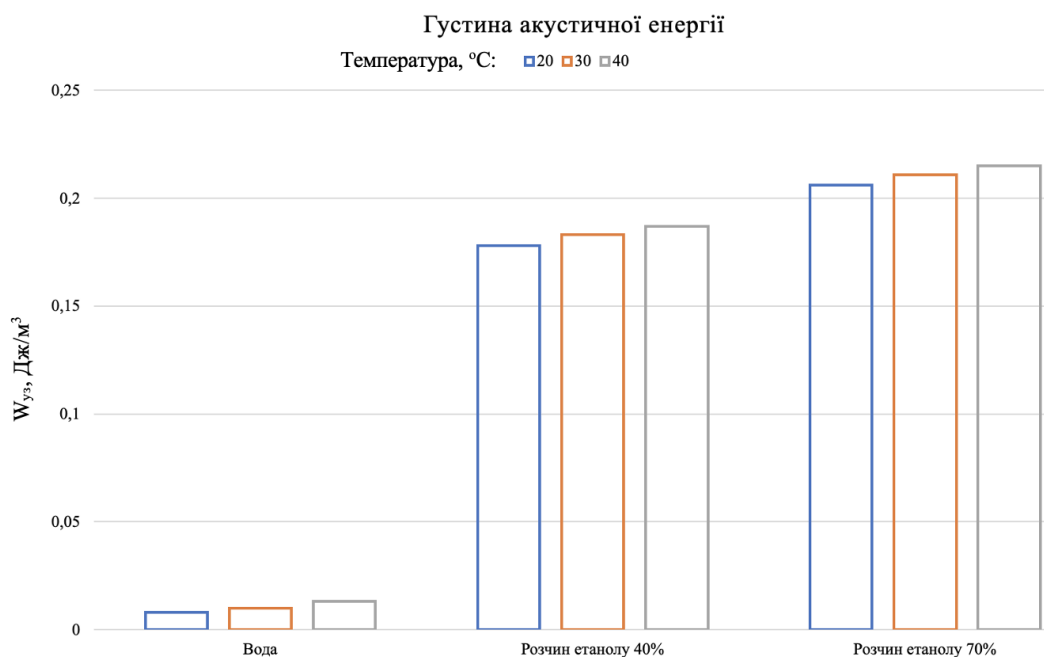
$\rho$  – густина екстрагенту, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – швидкість звуку в екстрагенті, м/с.

**Результати та обговорення.** На рисунках 1 та представлено результати розрахунків мінімального радіусу бульбашки, здатної до росту та густини акустичної енергії.



**Рис.1.** Значення мінімальних радіусів бульбашки, здатної до росту для різних екстрагентів



**Рис.2. Значення густини акустичної енергії для різних екстрагентів**

Під дією ультразвукового випромінювання може відбуватися підвищення температури рідини, внаслідок створення високотемпературних точок, а також дисипації ультразвукової енергії в рідині. Відомо, що зі збільшенням температури значення фізичних властивостей рідин, таких як вода та розчини етанолу зменшуються [3]. Результати, отримані внаслідок числового експерименту, показують, що зі збільшенням температури зростають значень розрахованих величин.

**Висновки.** Проведені дослідження, які дозволяють встановити умови виникнення ультразвукової кавітації у воді та розчинах етанолу різної концентрації. Проаналізовано вплив фізичних властивостей рідин на величину мінімальних радіусів бульбашки, здатної до росту, та густину акустичної енергії.

Показано, що в результаті зростання температури і зменшення густини рідин, збільшується радіус мінімальної бульбашки, здатної до росту. Внаслідок зменшення поверхневого натягу рідин зростає значення густини акустичної енергії.

### **Список використаної літератури:**

1. Розина Е. Ю. Кавітаційний режим звукокапілярного ефекту // Акустичний вісник. 2003. Том 6, №1. С. 48–59.
2. Ostapenko Zh. Determination of the influence of the sound capillary effect on the process of soaking vegetable raw materials in the acoustic extractor // Technology audit and production reserves. 2023. № 1/3 (69). P. 31–38.
3. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування: навч. посіб. Львів: «Інтелект-Захід», 2008. 736 с.