

КІНЕТИКА ВИЛУЧЕННЯ ОЛІЇ З МАКУХИ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ АДРЕСНОЇ ДОСТАВКИ ЕНЕРГІЇ

Запорожець Д.О., аспірант, Ружицька Н.В., к.т.н., асистент
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Анотація. У даній статті розглядаються результати досліджень кінетики вилучення олії з макухи соняшнику. Відомо, що після пресування в капілярних структурах макухи залишається олія. З метою більш ефективної переробки сировини, залишки олії екстрагують органічними розчинниками.

З метою підвищення якості та екологічної безпеки, неполярні екстрагенти, такі як гексан або екстракційні бензини, які є продуктами переробки нафти, поступово замінюють відновлюваним і менш токсичним етанолом.

Проте існує проблема невисокої розчинності тригліцеридів жирних кислот в етанолі. Ефективність етанолу в якості екстрагента пов'язується з емульгуванням олій, а не тільки розчиненням.

У статті пропонується інтенсифікувати як масообмінну складову процесу вилучення олії (екстрагування), так і гідромеханічну (емульгування) за допомогою технологій адресної доставки енергії.

Робиться припущення, що механізм механодифузії в умовах дії мікрохвильового поля не тільки руйнує капіляри сировини та інтенсифікує дифузійні процеси, а й збільшує вихід дрібнодисперсних крапель олії в екстрагент.

Проведено експериментальні дослідження залежності кінетики екстрагування олії від температури, гідралічного режиму, розміру частинок, питомого підведення енергії. Здійснено спроби гідромеханічного відокремлення олії від емульгованого екстракту.

Встановлено, що адресна доставка енергії та подрібнення макухи збільшують вихід олії. Збільшення питомих енерговитрат у досліджуваному діапазоні не впливає на вихід олії, що відкриває можливості до зменшення цього показника та подальшого підвищення енергетичної ефективності процесу.

Ключові слова: соняшникова макуха, мікрохвильове екстрагування, етанол, соняшникова олія, екстрагування.

Вступ. Україна є одним з провідних виробників та експортерів соняшникової олії у світовому масштабі [1]. У 2023 – 2024 році обсяг виробництва соняшникової олії склав 6,6 млн тонн [2]. Після одержання соняшникової олії пресуванням, вміст олії в макусі складає 15...26 % [3]. Після повторного пресування вміст жирів у макусі повинен становити не більше 6 %. А після екстрагування органічними розчинниками, вміст олії в соняшковому шроті не перевищує 1% [4].

В пошуку більш екологічно безпечних технологій переробки харчової сировини, все більшу увагу в якості екстрагента привертає етанол, який, на відміну від гексану та екстракційних бензинів, одержують бродинням відновлюваної сировини [3]. Високу ефективність в якості екстрагента етанол показав при екстрагуванні ріпакової, соєвої, амарантової олій, олії кави [5].

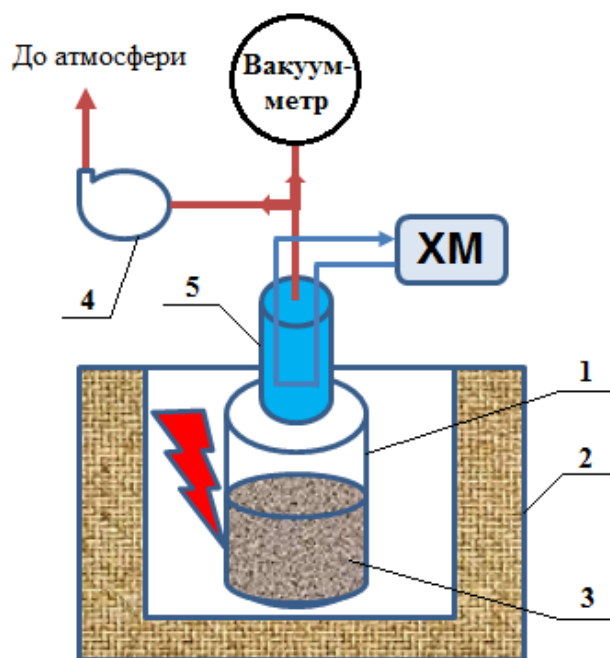
Розчинність олії в етанолі обмежена, але при використанні етанолу концентрацією близько 95 % олія утворює емульсію [6]. Таким чином емульгуванням олії можна пояснити високий вихід олій при екстрагуванні етанолом.

Одним із способів інтенсифікації процесу екстрагування олій з рослинної сировини є адресна доставка енергії до мікро- та наноструктур за допомогою мікрохвильових технологій [7]. Встановлено, що дія мікрохвиль викликає швидке утворення парової фази та різке збільшення тиску в капілярах сировини – явище бародифузії. Бародифузійний потік механічно ініціює викид екстрактивних речовин, таке явище отримало назву механодифузії [7]. Саме утворення та викид в екстрагент дрібних крапель екстрактивної речовини імовірно інтенсифікує утворення емульсії олії, тобто олія в екстракті знаходиться як у вигляді розчину (дифузійна складова), так і у вигляді дисперсної системи (гідромеханічна складова). З точки зору енергетичної ефективності виробництва, вилучення олії з емульсії механічними способами є менш витратними.

Об'єкти досліджень та обладнання. Об'єктом досліджень було обрано макуху соняшника з олійністю 6%. В якості екстрагенту використано етанол, концентрацією 91 %.

Дослідження проводились на експериментальному мікрохвильовому вакуум-екстракторі (рис. 1). У реакційну ємність 1 з радіопрозорого термостійкого матеріалу, розміщену в мікрохвильовій камері 2, завантажується суміш екстрагента з сировиною 3. Режим кипіння екстрагенту за низьких температур досягається за допомогою вакуум-насосу 4. Екстрагент, що випаровується при високих температурах, або в режимі кипіння, конденсується у холодильнику 5 і повертається до суміші. Мікрохвильовий вакуум-екстрактор дозволяє

проводити процес екстрагування в режимі кипіння в діапазоні температур від 36 °С до температури кипіння відповідного екстрагенту.



1 – реакційна ємкість з радіопрозорого матеріалу; 2 – мікрохвильова камера; 3 – продукт; 4 – вакуум-насос; 5 – конденсатор; ХМ – холодильна машина

Рис. 1 – Схема МХ екстрактора періодичної дії

Досліди в умовах традиційного енергопідведення проводились на лабораторній водяній бані ВБ-2.

Для обробки експериментальних зразків використовувались сушильна шафа 2В-151, ваги аналітичні Radwag - 220, центрифуга.

Визначення впливу способу енергопідведення на інтенсивність екстрагування. Досліди проводились на водяній бані та у мікрохвильовому екстракторі в режимі кипіння з фракцією макухи 2...3 мм. Гідромодуль складав 1:3, питоме енергопідведення – 720 кДж/кг суміші. Кінетичні криві процесу наведено на рис. 2.

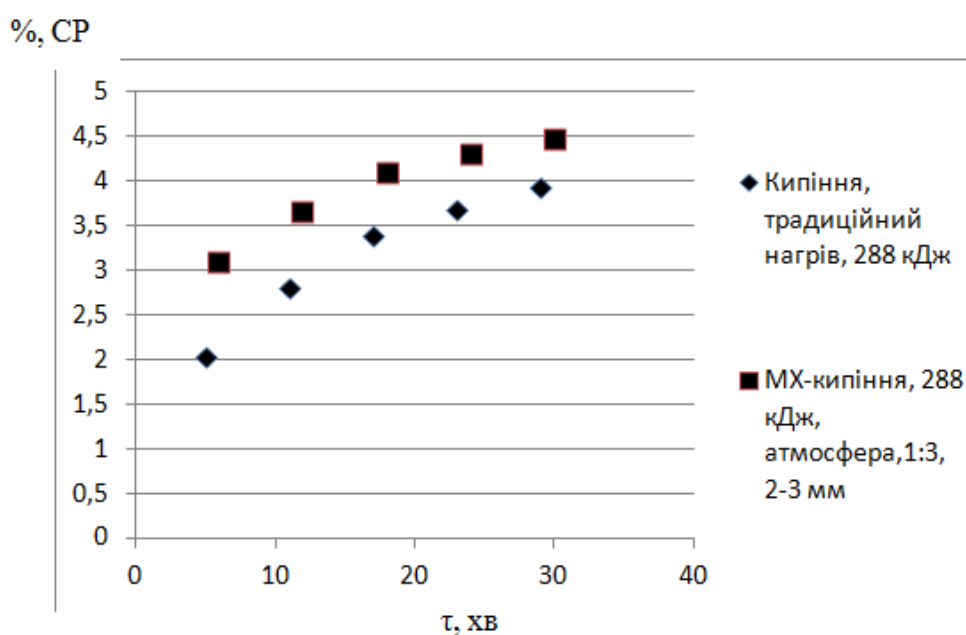
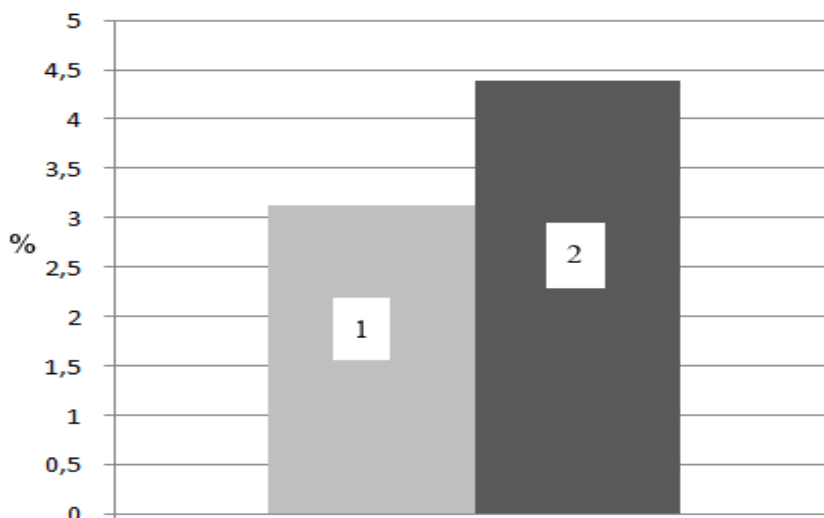


Рис. 2 – Кінетика екстрагування олії з макухи соняшника в залежності від способу енергопідведення

Оскільки в спиртових екстрактах може міститись до 75% спирторозчинних речовин, які не є тригліцеридами жирних кислот [7], проводилось розділення емульсії «спирт-олія» випарюванням та центрифугуванням. Вихід олії визначали у % від вихідної сировини. Результати наведено на рис. 3.

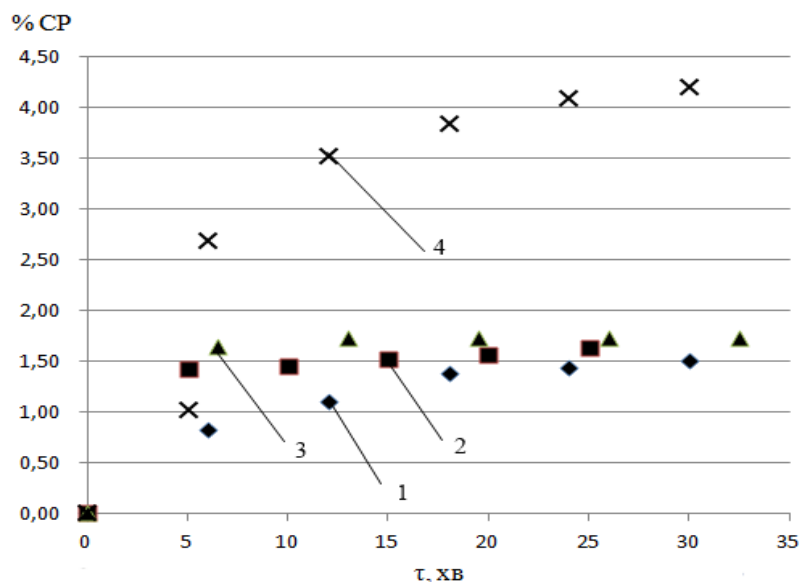


1 – традиційний нагрів; 2 – адресна доставка енергії

Рис. 3 – Вихід олії (у % від вихідної сировини) з макухи соняшника в залежності від способу енергопідведення

Як видно з графіків, застосування адресної доставки збільшує як перехід сухих речовин у екстракт, так і вихід безпосередньо олії.

Вплив температури та гідромеханічного режиму. Збільшення температури інтенсифікує процеси масопереносу, але в режимі кипіння виникає інтенсивна вимушена конвекція, що може суттєво збільшити вихід сухих речовин в екстрагент. Досліди проводились в мікрохвильовому екстракторі в режимі кипіння з фракцією макухи 2...3 мм. Гідромодуль складав 1:3. Кінетичні криві процесу наведено на рис. 4.

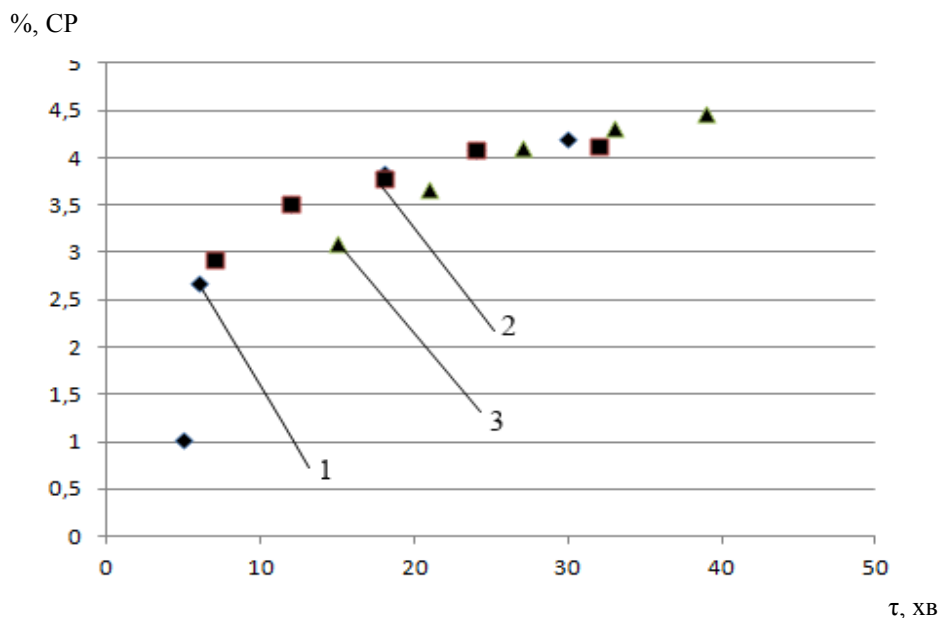


1 – 40 °C; 2 – 50 °C; 3 – 70 °C; 4 – кипіння

Рис. 4 – Кінетика екстрагування олії з макухи соняшника в залежності від температури та гідромеханічного режиму

В режимі кипіння інтенсивність масоперенесення та вихід сухих речовин збільшується майже вдвічі. Таким чином, більш доцільним можна вважати екстрагування саме в режимі кипіння.

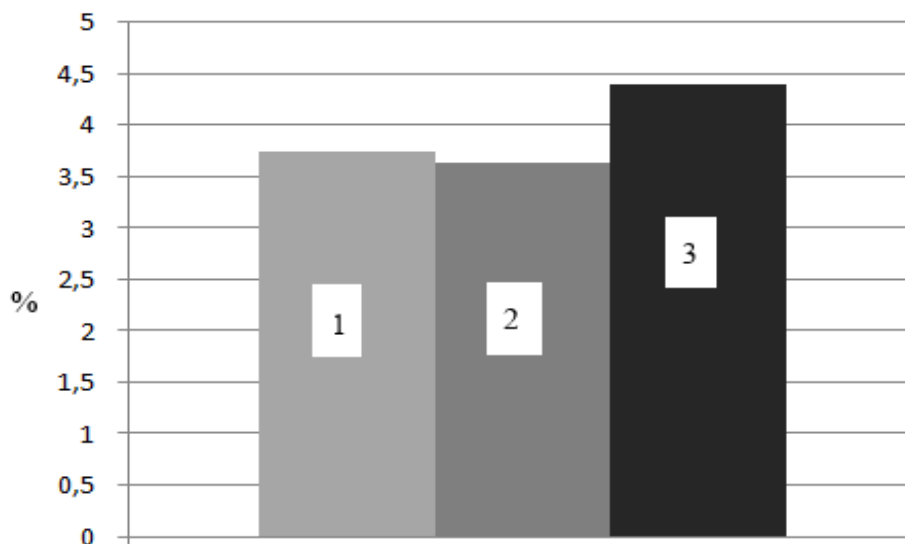
Вплив кількості підведеної енергії. З одного боку, збільшення питомого підведення енергії збільшує кількість механо дифузійних осередків у сировині, але надлишок теплоти, що виділяється, викликає локальні перегріву та термічне пошкодження сировини. В той же час, організація будь-якого технологічного процесу має мету зниження питомих витрат енергії та підвищення енергетичної та економічної ефективності. Досліди проводились в мікрохвильовому екстракторі в режимі кипіння з фракцією макухи 2...3 мм. Гідромодуль складав 1:3. Вибір енергетичних режимів зумовлено технічними можливостями установки. Кінетичні криві процесу наведено на рис. 5.



1 - 720 кДж/кг суміші; 2 - 1422 кДж/кг суміші; 3 - 2430 1422 кДж/кг

Рис. 5 – Кінетика екстрагування олії з макухи соняшника в залежності від питомих енерговитрат

З кривих видно, що після 20 хвилин обробки суттєвого впливу на кінетику процесу зміна питомого підведення енергії в досліджуваному діапазоні не чинить. Також вивчався вихід олії (рис. 6)



1 - 2430 кДж/кг суміші; 2 - 1422 кДж/кг суміші; 3 - 720 кДж/кг суміші

Рис. 6 – Вихід олії (у % від вихідної сировини) з макухи соняшника в залежності від способу енергопідведення

Як видно з діаграми, найбільший вихід олії спостерігався за найменших питомих енерговитрат. В якості пояснення можна зробити припущення, що за меншого енергопідведення сировина зазнавала меншого термічного пошкодження.

Дослідження впливу розміру частинок. Відомо, що чим менший розмір частинок, тим більша поверхня контакту фаз, проте надмірне подрібнення може спричинити закриття частинками мікрокапілярів сировини. Також, занадто дрібні частинки ускладнюють розділення екстракту та твердої фази. Кінетичні криві процесу наведено на рис. 7.

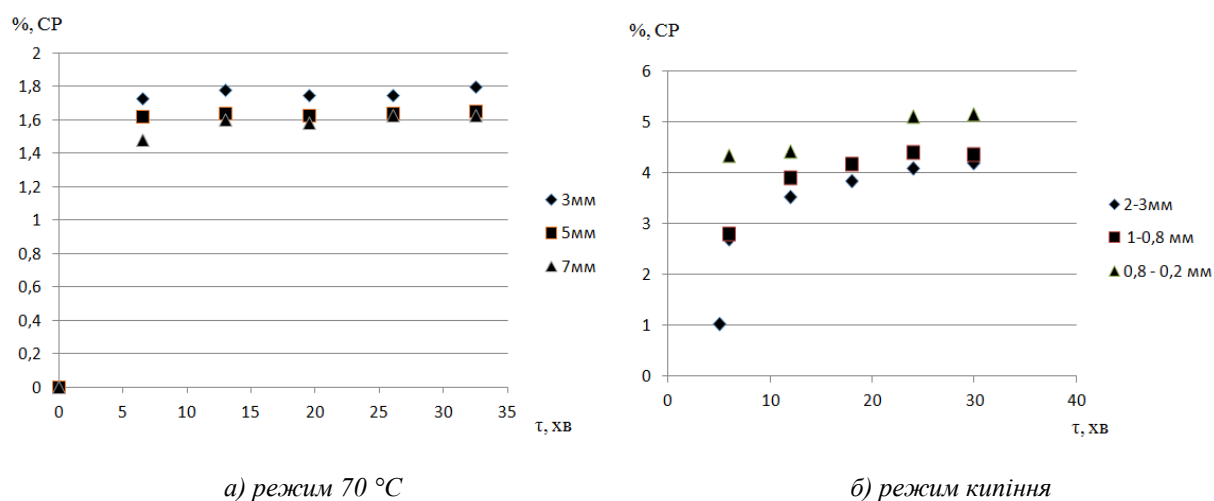


Рис. 7 – Кінетика екстрагування олії з макухи соняшника в залежності від питомих енерговитрат

В дослідженому діапазоні розмірів частинок найбільша інтенсивність масоперенесення спостерігалась при розмірі частинок 0,8...0,2 мм. У фракціях, дрібніших за 2 мм спостерігалась зміна співвідношення подрібнених ядер та лушпиння. У фракції, дрібнішій за 0,2 мм фрагменти лушпиння не спостерігались, відповідно, слід очікувати різницю в хімічному складі фракцій, дрібніших за 2...3 мм.

Фізичні властивості одержаних екстрактів. Всі одержані екстракти були непрозорими, по мірі зниження температури до 20...25 °C, мутність збільшувалась, що вказує на перехід частини розчиненої олії в емульсований стан внаслідок зменшення розчинності за даних температур. Густина складала 827...834 кг/м³. Після концентрування екстракту випаровуванням, встановлено, що при видаленні 80...90% екстрагенту та густині екстракту близько 970 кг/м³ спостерігається його розділення на шари. Верхнім є шар олії. Наступні шари потребують подальшого хімічного аналізу.

Висновки. В результаті проведення серії досліджень кінетики екстрагування олії з макухи соняшника етанолом встановлено залежності виходу екстрактивних речовин та олії від температури, типу конвекції екстрагенту, способу доставки енергії, розміру частинок, питомого енергопідводу. Встановлено, що адресна доставка енергії дозволяє суттєво збільшити вихід олії, при цьому питомі енерговитрати, більші за 720 кДж/кг суміші є недоцільними. Враховуючи наявність олії в екстракті у вигляді емульсії, відкриваються перспективи до відокремлення частини олії від екстрагента гідромеханічними методами та кріоконцентруванням, що дозволяє зменшити витрати енергії на випаровування.

References

1. Shevchenko A., Petrenko O., Helas V. (2024). Stratehichnyi rozvytok vyroshchuvannya soniashnyku v Ukraini [Strategic development of sunflower cultivation in Ukraine] *Economic Bulletin of the Black Sea Littoral*, 5, 133 – 145. <https://doi.org/10.37000/ebbsl.2024.05.11>
2. The production and export of sunflower oil in Ukraine set the second result during the years of Independence. Available at: <https://biz.censor.net/n3510984>
3. Petik, P. F., Hirman, V. V., Mazur, O. V. (2014). Doslidzhennia kinetyky ekstrahuvannya soniashnykovoi makukhy etylovym spyrtom [Study of the kinetics of extraction of sunflower cake with ethyl alcohol], *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/6 (72), 13–18.
4. Yegorov, B., TurpurovaT., Sharabaeva, E., & Bondar, Y. (2019). Prospects of using by-products of sunflower oil production in the food industry. *Food Science and Technology*, 13(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v13i1.1337>
5. Terziiev, S., Ruzhytska, N., Shcherbych, M., & Alkhuri, Yu. (2021). Intensification of the extraction process in food and oilseed productions waste utilization technologies. *Scientific Works*, 85(1). <https://doi.org/10.15673/swonaft.v85i1.2079>
6. Xu, Qingyi & Nakajima, Mitsutoshi & Nabetani, Hiroshi & Iwamoto, Satoshi & Liu, Xinqi. (2001). The effect of ethanol content and emulsifying agent concentration on the stability of vegetable oil–ethanol emulsions. *Journal of Oil & Fat Industries*. 78. 1185-1190. 10.1007/s11745-001-0411-z.

7. Burdo, O., Terziiev, S., Syrotyuk, I., Molchanov, M., & Burdo, A. (2023). The system of technologies of addressed energy delivery to food elements. *Scientific Works*, 87(1), 4-12. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i1.2683>
8. Бурдо, О., Ружицька, Н., Левицький, А., Лапінська, А., Запорожець, Д., & Гуліваті, В. (2023). ОДЕРЖАННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ МОДИФІКОВАНОГО СКЛАДУ. *Scientific Works*, 87(1), 117-122. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i1.2701>

KINETICS OF OIL EXTRACTION FROM SUNFLOWER OIL CAKE UNDER THE CONDITIONS OF ADDRESSED ENERGY DELIVERY

Zaporozhets D.O., graduate student, Ruzhytska N.V., PhD
Odesa National University of Technology, Odesa

Анотація. In current paper the results of studies on the kinetics of oil extraction from sunflower cake are considered. It is known that after pressing, oil remains in the capillary structures of the cake. In order to process raw materials more efficiently, oil residues are extracted with organic solvents. In order to improve quality and environmental safety, non-polar extractants such as hexane or extraction gasolines, which are products of petroleum refining, are gradually being replaced by renewable and less toxic ethanol.

However, there is a problem of low solubility of fatty acids triglycerides in ethanol. Ethanol's effectiveness as an extractant is due to emulsification of oils, not just dissolution. The article proposes to intensify both the mass exchange component of the oil extraction process (extraction) and the hydromechanical component (emulsification) using targeted energy delivery technologies. It is assumed that the mechano-diffusion mechanism under the conditions of the microwave field not only destroys the capillaries of the raw material and intensifies the diffusion processes, but also increases the output of finely dispersed oil droplets into the extractant. Experimental studies of the dependence of oil extraction kinetics on temperature, hydraulic regime, particle size, and specific energy input have been conducted. Attempts were made to hydromechanically separate the oil from the emulsified extract. Targeted energy delivery and cake grinding have been found to increase oil yield. An increase in specific energy consumption in the studied range does not affect the yield of oil, which opens up opportunities to reduce this indicator and further increase the energy efficiency of the process.

Keywords: sunflower cake, microwave extraction, ethanol, sunflower oil, extraction

Список використаної літератури

1. Шевченко А., Петренко О., Гелас В. Стратегічний розвиток вирощування соняшнику в Україні // Економічний вісник Причорномор'я – 2024. - № 5, С. 133 – 145.
2. Виробництво та експорт соняшникової олії в Україні встановили другий результат за роки Незалежності Джерело: <https://biz.censor.net/n3510984>
3. Петік П. Ф. Дослідження кінетики екстрагування соняшникової макухи етиловим спиртом / П. Ф. Петік, В. В. Гірман, О. В. Мазур // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – 6/6(72) – С. 13–18.
4. Yegorov, V., TurpurovaT., Sharabaeva, E., & Bondar, Y. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ ВИРОБНИЦТВА СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ В КОМБІКОРМОВІЙ ГАЛУЗІ. // *Food Science and Technology*. – 2019. – 13(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v13i1.1337>
5. Терзієв, С., Ружицька, Н., Щербич, М., & Альхурі, Ю. Інтенсифікація процесу екстрагування в технологіях утилізації відходів харчових та олійних виробництв. // *Scientific Works*, - 2021. – 85(1). <https://doi.org/10.15673/swonaft.v85i1.2079>
6. Xu, Qingyi & Nakajima, Mitsutoshi & Nabetani, Hiroshi & Iwamoto, Satoshi & Liu, Xinqi. The effect of ethanol content and emulsifying agent concentration on the stability of vegetable oil-ethanol emulsions. // *Journal of Oil & Fat Industries*. - 2001. – 78. 1185-1190. 10.1007/s11745-001-0411-z.
7. Бурдо, О., Терзієв, С., Сиротюк, І., Молчанов, М., & Бурдо, А.. СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЙ АДРЕСНОЇ ДОСТАВКИ ЕНЕРГІЇ ДО ЕЛЕМЕНТІВ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ. // *Scientific Works*, - 2023. – 87(1), С.4 – 12. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i1.2683>
8. Бурдо, О., Ружицька, Н., Левицький, А., Лапінська, А., Запорожець, Д., & Гуліваті, В.. ОДЕРЖАННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ МОДИФІКОВАНОГО СКЛАДУ // *Scientific Works*, - 2023. – 87(1), С. 117-122. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i1.2701>

Отримано в редакцію 11.08.2024
Прийнято до друку 25.09.2024

Received 11.08.2024
Approved 25.09.2024