

УДК 622.331

В.В. Грабовець

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ВОЛОГИ З ОЗЕРНОГО САПРОПЕЛЮ У СОРБЦІЙНОМУ ПРИСТРОЇ

В роботі наведені результати досліджень процесу зневоднення сапропелю сорбційним способом. Встановлено оптимальні значення параметрів досліджуваного процесу зневоднення.

Ключеві слова: сапропель, процес зневоднення, вологість, сорбційне зневоднення

Постановка проблеми. Сапропелі – органо-мінеральна дисперсія, яка у природному стані має форму донних відкладів прісноводних водойм та містить не менше ніж 15 % органічної речовини, а також неорганічні компоненти біогенного та приносного характеру [1, 2]. За класифікацією дисперсних систем відповідно до стану фаз сапропель у природному стані належать до суспензій, де дисперсним середовищем є рідина (вода), а дисперсною фазою - тверда речовина [3]. Період утворення сапропелевих відкладів деяких озер складає 16-20 тис. років [3,4].

Сапропелі широко використовують у сільському господарстві у якості органічних добрив або основи для виробництва органо-мінеральних добрив. З точки зору екології суттєвим кроком при приготуванні сапропелевих добрив є його компостування з гноєм, пташиним послідом і т. д. Це забезпечує підвищення врожаїв сільськогосподарських культур за рахунок збільшення рухомих форм азоту, фосфору і калію та завдяки зростанню кількості маслянокислих бактерій і гумінових сполук.

Одним з суттєвих факторів з точки зору охорони навколишнього середовища є дотримання норм внесення сапропелевих добрив.

Як показують результати таких вчених [1,3,5] (Г.А. Євдокимової, А.П. Виноградова, М.Й. Шевчука, О.Г. Красноберської та інших) найбільш оптимальними нормами внесення чистого сапропелю є 60-80 т/га, а компостів виготовлених на його основі – 60 т/га. Допускається перевищення норми до 100 т/га на легких ґрунтах. Значне перевищення норм внесення приводить до зниження якості сільськогосподарської продукції та забруднення навколишнього середовища і ґрунтів токсичними речовинами.

Характерною ознакою для сапропелю є його здатність протягом тривалого часу утримувати вологу, що забезпечує її повільний перехід до рослин.

Аналіз останніх досліджень. Враховуючи високу природну вологість озерних сапропелів, яка коливається у межах 92-98 %, гостро постає проблема застосування комбінованого процесу зневоднення, що базується на використанні різних фізичних явищ для зменшення енергоємності процесу. Даній проблемі не приділено уваги, майже відсутні глибокі наукові дослідження даного процесу. Відомі дослідження із зневоднення сапропелів безпосередньо під час добування, механічним способом [6]. Під час даного процесу зневоднення відбувається стискання матеріалу. Це пояснюється наявністю у сапропелі гравітаційної та слабозв'язаної вологи [7]. Відділення даних форм вологи з матеріалу це лише перший етап у технології доведення матеріалу до кондиційного приданого до пакування і транспортування стану. Наступні етапи повинні забезпечити вихід готового продукту вологістю у межах 65-70%. Проте найважливішу увагу заслуговує зневоднення відразу після добування, так як у даному випадку потрібно з незначними затратами енергії відділити якомога більшу частину водної фракції.

Мета дослідження. Дослідити особливості зневоднення озерних сапропелів у лабораторному сорбційному пристрої, для вибору ефективних режимів та параметрів процесу.

Результати досліджень. Під час проведення експерименту за параметр оптимізації було вибрано масу відділеної вологи M з озерного сапропелю. Серед факторів, які впливають на даний процес було вибрано початкову вологість сапропелю W , швидкість стрічкового транспортера V , потужність СВЧ генератора P та кута нахилу верхнього транспортера до горизонту β . Для планування експерименту за чотирма факторами було використано симетричний некомпозиційний план Бокса-Бенкіна другого порядку. Кодування факторів, їх рівні та інтервали варіювання представлені в таблиці.

Кодування факторів, їх рівні та інтервали варіювання

Рівні варіювання	Фактори			
	Вологість W, %	Швидкість транспортера, V, м/с	Потужність СВЧ генератора P, Вт	Кут нахилу транспортера, β°
	x_1	x_2	x_3	x_4
Верхній (+1)	90	0,025	595	10
Основний (0)	88	0,02	425	5
Нижній (-1)	86	0,015	255	0
Інтервал варіювання ϵ	2	0,005	170	5

Експеримент проводився в лабораторних умовах на спеціально виготовленому пристрої (рисунок 1). Матеріал перед зневодненням нагрівали струмами високої частоти за різних температурних режимів, це також дасть змогу встановити залежність зневоднення від температури сировини. Для дослідження використовували органічний сапропель добутий з озера Середнє Волинської області з початковою вологістю 92...96%. Визначення вологості сапропелю проводилося за стандартною методикою. Зневодненню у всіх дослідках експерименту піддавалась однакова кількість матеріалу, маса якого складала 20 кг. У процесі дослідження визначалася маса відділеної води з цієї кількості матеріалу. Отримані значення маси води ділилися на двадцять п'ять для встановлення кількості виділеної води з 1 кг сапропелю. Значення початкової маси сапропелів для експерименту, зумовлена аналітично розрахованим об'ємом необхідним для ефективного проходження процесу. У дослідженнях довжина зони контакту матеріалу залишалась сталою, а змінювався швидкість руху транспортера та кут нахилу притискної стрічки транспортера до основної, а також значення початкової вологості та потужність СВЧ генератора під час нагрівання сапропелів.

Обробка даних результатів експерименту відбувалася за допомогою програми, створеної у системі комп'ютерної математики Mathcad згідно методики [8], що



Рис. 1 Експериментальна установка для сорбційного зневоднення матеріалу: 1-притискний транспортер; 2 – основний стрічковий транспортер; 3 – механізм приводу; 4 – пристрій регулювання кута нахилу стрічки сорбенту; 5 – смінь для зневодненого сапропелю; 6 – роликкоопори

дозволило отримати рівняння регресії маси відділеної води з озерного сапропелю після проходження через транспортер:

$$y = 30,825 + 14,913x_1 + 0,564x_2 - 0,417x_3 - 1,294x_4 + 0,658x_1x_2 - 0,642x_1x_3 - 0,975x_1x_4 + 0,183x_2x_3 - x_2x_4 - 0,075x_3x_4 + 5,298x_1^2 + 1,082x_2^2 + 0,519x_3^2 + 0,561x_4^2 \quad (1)$$

Оцінку значущості коефіцієнтів регресії проводили за допомогою критерію Стюдента. Критерій Стюдента при 5%-му рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_1=2$ склав $t_{0,05;2}=4,3$ [8], у результаті чого рівняння (1) набуло вигляду:

$$y = 30,825 + 14,913x_1 + 0,564x_2 - 0,417x_3 - 1,294x_4 + 0,658x_1x_2 - 0,642x_1x_3 - 0,975x_1x_4 - x_2x_4 + 5,298x_1^2 + 1,082x_2^2 + 0,519x_3^2 + 0,561x_4^2 \quad (2)$$

Перевірку адекватності отриманого рівняння регресії (2) проводили за допомогою F – критерію Фішера. Розрахункове значення критерію Фішера становило $F^{розр.}=13,27$. Табличне значення критерію Фішера при прийнятому 5%-му рівні значущості та ступенях вільності $f_1=2, f_2=12$ згідно [8] склало $F^{табл.}=19,38$. Так як $F^{розр.}=13,27 < F^{табл.}=19,38$, тоді отримана модель адекватна.

Остаточне рівняння з факторами у натуральному вигляді буде:

$$y = 9593,73 + 224,74W - 6007V + 0,1406P + 7,95\beta + 65,8WV - 0,001VP - 0,0975W\beta + 7,32V\beta + 1,32W^2 + 7320V^2 + 0,000018P^2 + 0,02244\beta^2 \quad (3)$$

За рівнянням регресії (3) було побудовано поверхні відгуку (рисунки 2 – 7).

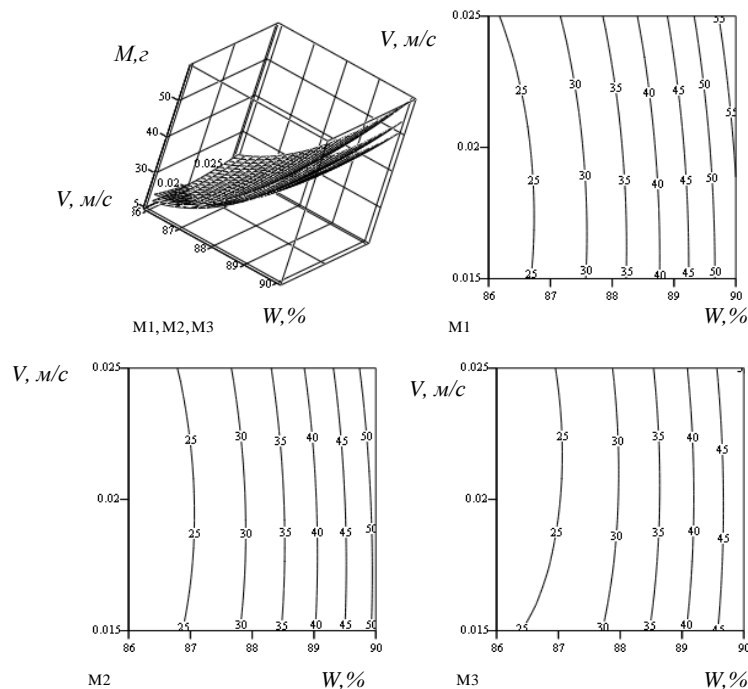


Рис. 2 Поверхні відгуку маси відділеної води M залежно від початкової вологості сапропелю W , швидкості робочого органу V , потужності СВЧ P та кута нахилу транспортера β і відповідні їх двомірні перерізи (M1 – $P = 255$ Вт, $\beta = 0^\circ$; M2 – $P = 425$ Вт, $\beta = 5^\circ$; M3 – $P = 595$ Вт, $\beta = 10^\circ$)

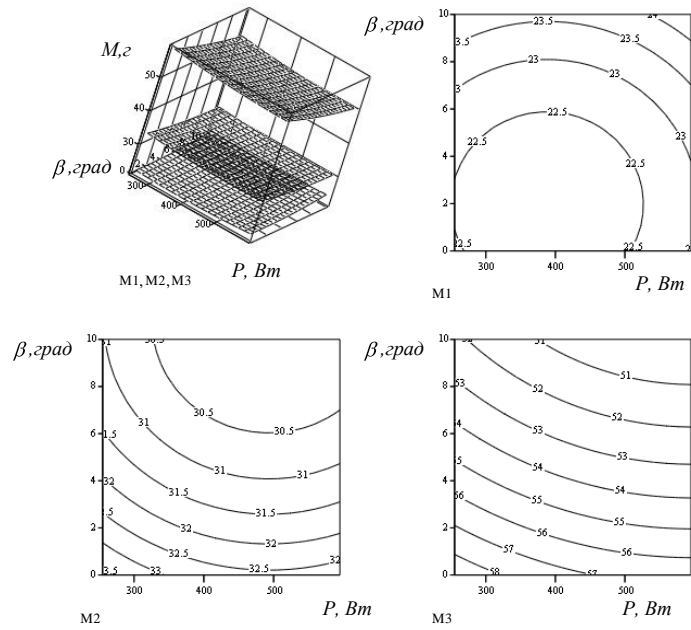


Рис. 3. Поверхні відгуку маси відділеної води M залежно від початкової вологості сапропелю W , швидкості робочого органу V , потужності СВЧ P та кута нахилу транспортера β і відповідні їх двомірні перерізи (M1 – $W = 86\%$, $V = 0,015$ м/с; M2 – $W = 88\%$, $V = 0,02$ м/с; M3 – $W = 90\%$, $V = 0,025$ м/с)

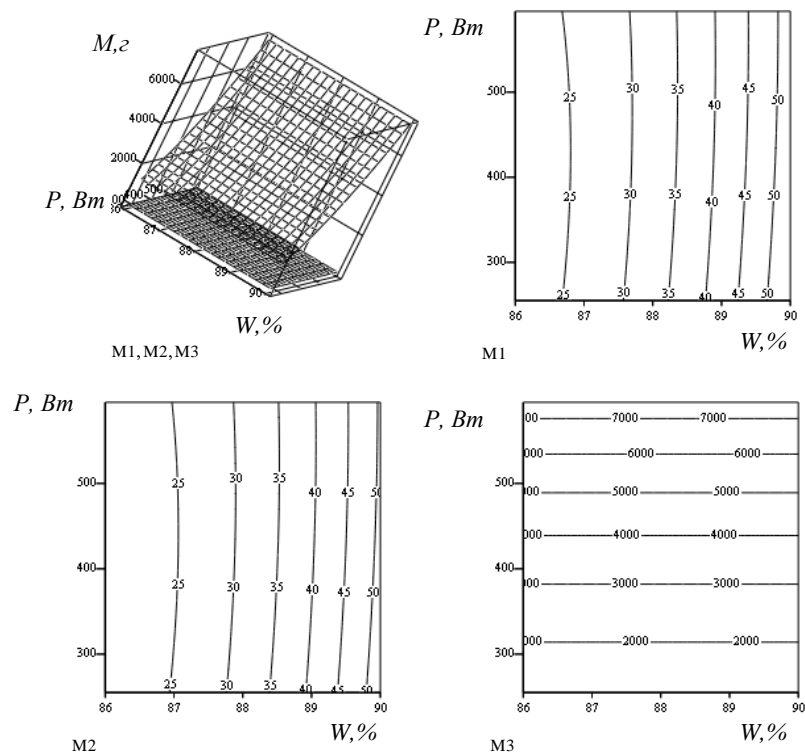


Рис. 4. Поверхні відгуку маси відділеної води M залежно від початкової вологості сапропелю W , швидкості робочого органу V , потужності СВЧ P та кута нахилу транспортера β і відповідні їх двомірні перерізи (M1 – $V = 0,015$ м/с, $\beta = 0^\circ$; M2 – $V = 0,02$ м/с, $\beta = 5^\circ$; M3 – $V = 0,025$ м/с, $\beta = 10^\circ$)

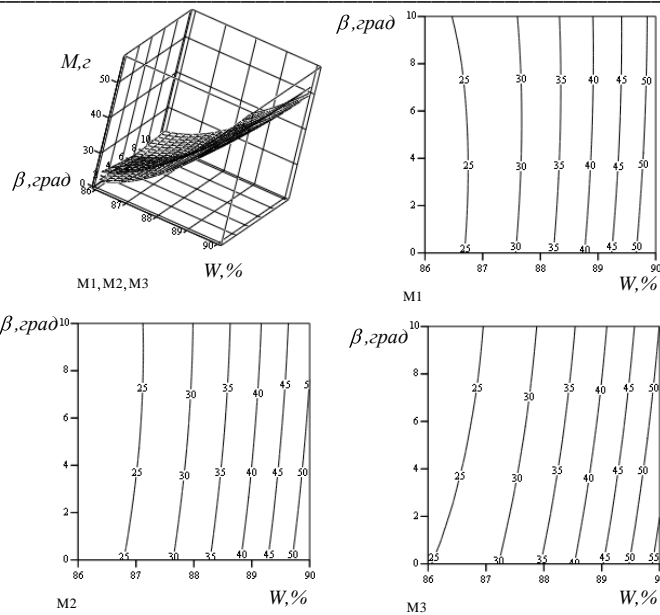


Рис. 5. Поверхні відгуку маси відділеної води M залежно від початкової вологості сапропелю W , швидкості робочого органу V , потужності СВЧ P та кута нахилу транспортера β і відповідні їх двомірні перерізи (M1 – $V = 0,015$ м/с, $P = 255$ Вт; M2 – $V = 0,02$ м/с, $P = 425$ Вт; M3 – $V = 0,025$ м/с, $P = 595$ Вт)

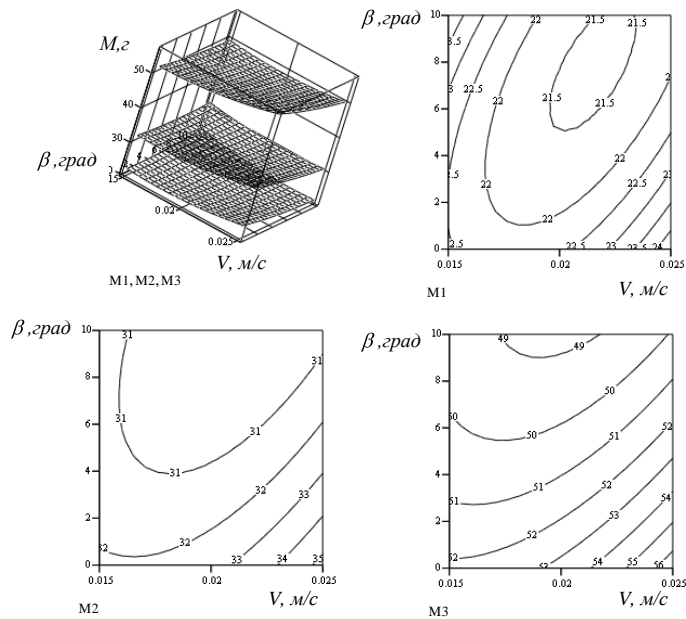


Рисунок 6 – Поверхні відгуку маси відділеної води M залежно від початкової вологості сапропелю W , швидкості робочого органу V , потужності СВЧ P та кута нахилу транспортера β і відповідні їх двомірні перерізи (M1 – $W = 86$ %, $P = 255$ Вт; M2 – $W = 88$ %, $P = 425$ Вт; M3 – $W = 88$ %, $P = 595$ Вт)

Аналіз отриманих результатів показує, що збільшення початкової вологості W сапропелю призводить до зростання маси видаленої вологи M внаслідок її контакту з робочим органом. Зменшення швидкості транспортера V призводить до збільшення вологовідділення, через те, що матеріал довший час перебуває у контакті із сорбентом. Збільшення значення кута β також забезпечує зростання маси відділеної вологи, оскільки в процесі руху матеріал піддається стисканню. Збільшення потужності СВЧ-генератора не завжди інтенсифікує процес зневоднення.

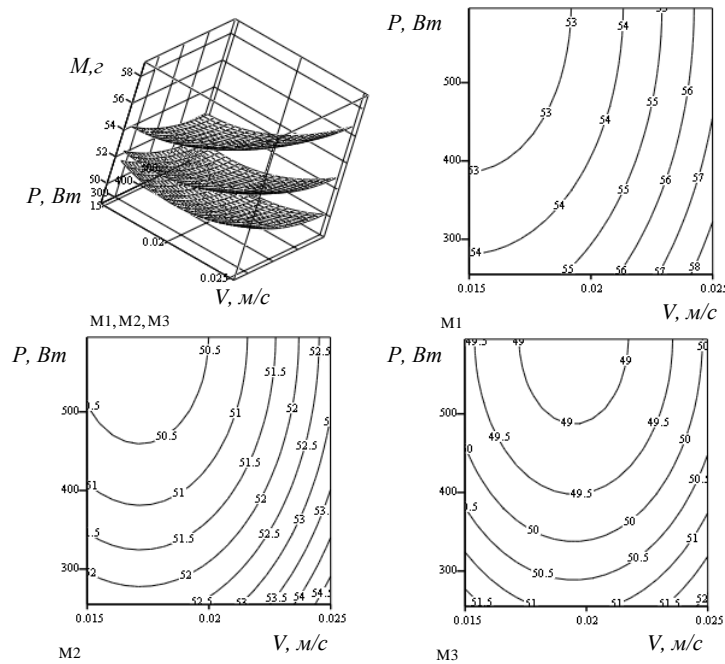


Рис. 7. Поверхні відгуку маси відділеної води M залежно від початкової вологості сапропелю W , швидкості робочого органа V , потужності СВЧ P та кута нахилу транспортера β і відповідні їх двовірні перерізи (M1 – $P = 255$ Вт, $\beta = 0^\circ$; M2 – $P = 425$ Вт, $\beta = 5^\circ$; M3 – $P = 595$ Вт, $\beta = 10^\circ$)

Висновок. У результаті проведення чотирифакторного експерименту за планом Бокса-Бенкіна було отримано функцію відгуку (3), яка дозволяє встановити вплив початкової вологості сапропелю, швидкості транспортера, кута нахилу притискового транспортера до основного та потужності СВЧ генератора на масу відділеної води з сапропелю на у сорбційному зневоднювальному пристрої. Проведена оптимізація за допомогою функції Maximize в системі комп'ютерної математики Mathcad [9] дозволила отримати такі раціональні значення досліджуваних факторів: початкова вологість сапропелю $W = 90\%$, швидкість робочого органа $V = 0,025$ м/с, потужність СВЧ-генератора $P = 255$ Вт та кут нахилу верхнього транспортера $\beta = 0^\circ$.

Результати дослідження дають необхідні рекомендації конструкторам і виробникам щодо виготовлення механізованого обладнання у процемі сорбційного зневоднення сапропелів.

1. Лопотко М.З. Сапропели и продукты на их основе. / Лопотко М.З., Евдокимова Г.А. - Мн.: Наука и техника, 1986, - 191 с.
2. Косаревич И. В. Структурообразование в дисперсиях сапропелей / Косаревич И. В. - Мн. : Наука и жизнь, 1990 – 247 с.
3. Шевчук М. Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання / Шевчук М. Й. – Луцьк : Надстир'я, 1996. – 384 с.
4. Максимов П. Г., Результаты агроэкономической оценки сапропелевых месторождений / Максимов П. Г., Кузнецов А. В., Платонов И. Г. – М., 2000. – 110 с.
5. Лопотко М. З. Сапропели в сельском хозяйстве / Лопотко М. З., Евдокимова Г. А., Кузьмицкий П. Л. – Мн. : Наука и техника, 1992. – 216 с.
6. Шимчук О.П. Обґрунтування параметрів модуля для добування озерних сапропелів: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.11 / Шимчук Олександр Петрович. – Тернопіль, 2009. – 137 с.
7. Дідух В.Ф., Луцик Р.В., Грабовець В.В. Вологообмінні та термодинамічні властивості сапропелів // Науковий вісник національного аграрного університету. К. вип. 92. Частина II, 2005. – С.92-99.
8. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Новик Ф.С., Арсов Я.Б. – М.: Машиностроение, София: Техника, 1980. – 304 с.
9. Дьяконов В.П. Mathcad 11/12/13 в математике: Справочник /В.П. Дьяконов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 958 с.