

## MODELLING AND OPTIMIZATION OF THE ADSORPTION PURIFICATION PROCESS OF SORTIVKA BY SHUNGITE

O. Turchun, L. Melnyk, S. Matko

National University of Food Technologies

V. Mirosnyk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

---

**Key words:**

*Alcoholic beverage*

*Sortivka*

*Adsorption purification*

*Shungite*

*Regression*

**Article history:**

Received 01.07.2016

Received in revised form

04.08.2016

Accepted 16.08.2016

**Corresponding author:**

O. Turchun

**E-mail:**

npuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

Using the method of full factorial design, the equation of regression has been developed to determine the content of aldehydes in alcoholic beverage Sortivka purified by shungite. Adequacy of the developed equations has been verified. Based on the research results and by using application software package the optimal parameters of the process of purifying Sortivka by shungite have been determined (namely the duration and temperature of the purification process, as well as concentration of the adsorbent).

## МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ АДСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ СОРТІВКИ ШУНГІТОМ

О.В. Турчун, Л.М. Мельник, С.В. Матко

Національний університет харчових технологій

В.О. Мірошник

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У статті завдяки використанню методу повного факторного експерименту розроблено рівняння регресії для визначення вмісту альдегідів у сортівці, очищеній шунгітом. Встановлено адекватність отриманого рівняння. На основі результатів досліджень із застосуванням пакета прикладних програм визначено оптимальні параметри очищення сортівки шунгітом, а саме: тривалість, температуру процесу очищення та концентрацію адсорбента

**Ключові слова:** сортівка, адсорбційне очищення, шунгіт, рівняння регресії.

**Постановка проблеми.** Екологічна безпека і якість харчових продуктів, зокрема горілчаних виробів, залежить від якісних показників етилового спирту та води. Сортівку, з якої виробляють горілку, традиційно очищають від шкідливих домішок активним вугіллям [1]. Небажаною домішкою в сортівках є наднормований вміст альдегідів [2].

**Мета дослідження.** Отримати раціональні параметри для проведення процесу адсорбційного очищення спиртових розчинів шунгітом.

**Виклад основних результатів дослідження.** Авторами проведені дослідження адсорбційного очищення водно-спиртових розчинів природним адсорбентом шунгітом. Отримані результати стали підґрунтям для моделювання й оптимізації процесу адсорбційного очищення сортівки з метою його проведення в автоматичному режимі [3, 4].

Для розроблення рівняння регресії, за допомогою якого можна обчислити вміст альдегідів у сортівці, попередньо очищеній шунгітом, використали метод повного факторного експерименту типу ПФЕ = 2<sup>3</sup>. При цьому рівняння регресії матиме вигляд:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{1,2} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{1,3} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{2,3} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{1,2,3} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \quad (1)$$

яка виражає залежність вмісту альдегідів у сортівці від тривалості процесу ( $x_1 = \tau$ , хв) очищення, концентрації шунгіту ( $x_2 = c$ , %мас.), фракційності сорбенту ( $x_3 = d$ , мм).

Значення вибраних рівнів факторів варіювання представлені в табл. 1.

*Таблиця 1. Рівні факторів та інтервали варіювання*

Рівень факторів варіювання	Кодове позначення	Час, хв	Концентрація сорбента, % мас.	Фракційність, мм
		$x_1$	$x_2$	$x_3$
Основний рівень	0	20	6,16	2
Інтервал варіювання	$Dx_i$	10	2,93	1
Верхній рівень	+1	30	9,09	3
Нижній рівень	-1	10	3,23	1

Був складений план трифакторного експерименту першого порядку. Послідовність виконання дослідів при кількості повторних дослідів  $M = 2$  виконувалась з урахуванням їх рандомізації для того, щоб виключити вплив випадкових факторів на результати експерименту. Оцінка однорідності дослідних даних виконувалась з урахуванням дисперсій дослідів  $S_u^2$  (табл. 2) за критерієм Кохрена.  $Y_1, Y_2, Y_c$  — вміст альдегідів в обробленій шунгітом сортівці при виконанні повторних дослідів і їх середньоарифметичне значення.

Для реалізації поставленої задачі обрано повний факторний експеримент першого порядку, який передбачає рівність і мінімальність дисперсій, передбачених значень змінної для всіх точок факторного простору, виконання якого надає можливість здійснити комплексний вплив на стан об'єкта дослідження.

Дисперсію паралельних дослідів, їх однорідність, коефіцієнти рівняння регресії розраховано відповідно до рекомендацій [5]. Отримано рівняння виду:

$$\hat{Y} = 3,75 - 0,58 \cdot x_1 + 1,03 \cdot x_2 + 0,48 \cdot x_3 - 0,6 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,3 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,85 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,425 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (2)$$

Після обчислення коефіцієнтів рівнянь регресії, визначення їх значущості і перевірки на адекватність, розкодування отримали вираз, за допомогою якого можна визначити вміст альдегідів:

$$f_{\text{альд.}} = 5,22 - 0,05 \cdot \tau - 0,4 \cdot c - 2,49 \cdot d + 0,01 \cdot \tau \cdot c + 0,06 \cdot \tau \cdot d + 0,58 \cdot c \cdot d - 0,01. \quad (3)$$

Таблиця 2. Матриця результатів досліджень вмісту альдегідів за факторним планом експерименту

Зміна стану			Розрахунки				
$Y_1$	$Y_2$	$Y_c$	$(Y_1 - Y_c)^2$	$(Y_2 - Y_c)^2$	$S_u^2$	$S_u$	$\hat{Y}$
3,1	3,3	3,2	0,01	0,01	0,02	0,141	3,2
2,8	3,2	3,0	0,04	0,04	0,08	0,283	3,0
4,3	3,5	3,9	0,16	0,16	0,32	0,566	3,9
3,3	2,7	3,0	0,09	0,09	0,18	0,424	3,0
2,4	2,0	2,2	0,04	0,04	0,08	0,283	2,2
2,6	2,4	2,5	0,01	0,01	0,02	0,141	2,5
8,3	7,7	8,0	0,09	0,09	0,18	0,424	8,0
4,0	4,4	4,2	0,04	0,04	0,08	0,283	4,2
$\Sigma$					0,96		

Підставляючи в отримане рівняння (3) замість вхідних факторів відповідні їм значення, передбачені у табл. 1, можна визначити вміст альдегідів в обробленій шунгітом сортівці. Отримане рівняння має практичну цінність, оскільки дозволяє за вихідними технологічними параметрами прогнозувати хід процесу і якість отриманого продукту. Відносна похибка знаходиться в межах допустимих значень (5 % від середнього значення кожного з факторів).

Застосування пакета прикладних програм Mathcad Professional 2015 дало змогу визначити оптимальну тривалість очищення сортівки шунгітом і концентрацію адсорбента.

З рис. 1 видно, що найнижчого вмісту альдегідів досягаємо при тривалості оброблення 10 хв і концентрації 2,93 %мас. (фракційність адсорбента 2,5 мм).

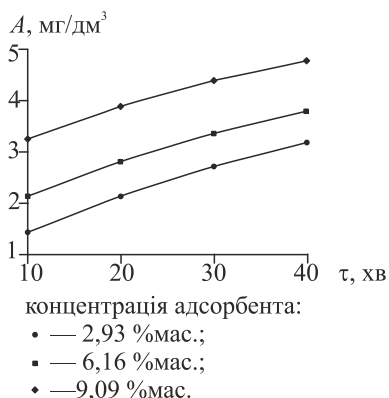


Рис. 1. Залежність вмісту альдегідів в очищеній шунгітом сортівці від тривалості процесу

Для реалізації поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Скласти математичну модель об'єкта оптимізації.
2. Вибрати критерій оптимальності і сформулювати цільову функцію.
3. Встановити можливі обмеження, які повинні накладатися на змінні.
4. Вибрати метод оптимізації, який дозволить знайти екстремальне значення шуканих величин.

Математичну модель у вигляді рівняння регресії вже складено. Вибір критерія оптимальності  $R$  і формування цільової функції здійснювали за рівнянням:

$$R = R(x_1, x_2 \dots x_n; y_1, y_2 \dots y_m; u_1, u_2 \dots u_k), \quad (4)$$

де  $x_1, x_2 \dots x_n$  — вхідні параметри;  $y_1, y_2 \dots y_m$  — вихідні параметри;  $u_1, u_2 \dots u_k$  — керуючі параметри.

За допомогою одного вихідного параметра неможливо однозначно охарактеризувати досліджуваний процес адсорбційного очищення сортівки, тому для вирішення оптимізаційної задачі використовували узагальнений критерій оптимізації, який дозволяє єдиним кількісним показником узагальнити обрані локальні критерії оптимальності:

$$F = \prod_{i=1}^n f_i'(x)^{\lambda_i} \rightarrow \max, \quad (5)$$

де  $f_i(x)^{\lambda_i}$  — локальні критерії оптимальності в безрозмірній формі;  $\lambda_i$  — вагові коефіцієнти,  $i=1 \dots 4$ .

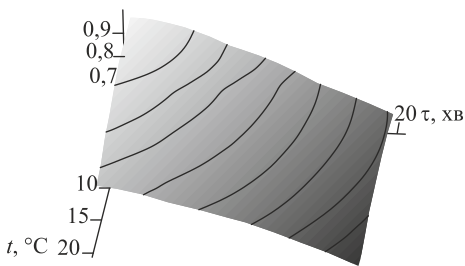
Для оцінки ефективності процесу адсорбційного очищення сортівки було обрано такі локальні критерії (в натуральній формі):  $f_1(x)$  — вміст альдегідів, мг/дм<sup>3</sup>;  $f_2(x)$  — вміст вищих спиртів, мг/дм<sup>3</sup>;  $f_3(x)$  — вміст естерів, мг/дм<sup>3</sup>;  $f_4(x)$  — концентрація сорбенту, %мас. Вагові коефіцієнти з урахування важливості локальних критеріїв оптимізації вибрані, відповідно, такі: 0,3; 0,3; 0,3; 0,1. Перші три показники характеризують якісні властивості очищеної сортівки: у процесі оброблення вміст домішок, по можливості, має зменшуватися до нуля.

Використання узагальненого критерію оптимізації вимагає перетворення локальних критеріїв оптимізації з натуральної в безрозмірну форму, яке здійснювали методом Харрінгтона через визначення проміжних параметрів  $fb_i$  за допомогою функції бажаності.

Інтервали бажаності (табл. 4) вибирали з урахуванням визначених значень локальних критеріїв оптимальності.

*Таблиця 4. Інтервали бажаності локальних критеріїв оптимальності для купажу*

Локальні критерії оптимальності	Значення бажаності	
	0,01	0,99
$f_1(x)$	8,0	1,5
$f_2(x)$	5,5	2,0
$f_3(x)$	30	10
$f_4(x)$	30	10



**Рис. 2. Графік поверхні відгуку**

На рис. 2 представлені лінії рівня узагальненого критерію оптимізації процесу адсорбційного очищення сортівки шунгітом.

Використовуючи програму пошуку максимального значення функції і її параметрів за значеннями індексів, було обчислено оптимальні параметри процесу адсорбційного очищення сортівки: концентрація адсорбента 2,93 %мас., температура 10 °C і тривалість процесу — 10 хв.

Отримані оптимальні параметри процесу адсорбційного очищення сортівки від альдегідів, спиртів, естерів шунгітом узгоджуються з результатами виробничих випробувань.

### **Висновки**

1. Отримане рівняння регресії за допомогою методу повного факторного експерименту надає можливість розрахувати вміст альдегідів у сортівці, очищеній шунгітом.

2. Розроблено узагальнений критерій оптимізації, за допомогою якого проведено оптимізацію процесу адсорбційного очищення сортівки.

3. Встановлено оптимальні параметри адсорбційного очищення сортівки від альдегідів, спиртів, естерів: концентрація адсорбента 2,93 % мас., температура очищення сортівки 10 °С і тривалість процесу — 10 хв при фракційності адсорбенту 2,5 мм.

### **Література**

1. Макаров С.Ю. Инновационные технологии и оборудование в производстве ликероводочных напитков / С.Ю. Макаров, И.Л. Славская. — Москва: ДеЛипринт, 2011. — 164 с.

2. Производство водок и ликероводочных изделий / И.И. Бурачевский, Р.А. Зейнуллин, Р.А. Кунакова, В.А. Поляков, В.И. Федоренко // Под ред. И.И. Бурачевского. — Москва: ДеЛипринт, 2009. — 324 с.

3. Алексеев Е.Л. Моделирование и оптимизация технологических процессов в пищевой промышленности / Е.Л. Алексеев, В.Ф. Пахомов. — Москва: Агропромиздат, 1988. — 273 с.

4. Бахрушин В.С. Математичне моделювання: Навчальний посібник. — Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2004. — 140 с.

5. Федоров В.Г. Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности / В.Г. Федоров, А.К. Плесконос // Пищевая промышленность. — 1980. — 240 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СОРТИРОВКИ ШУНГИТОМ**

**Е.В. Турчин, Л.Н. Мельник, С.В. Матко**

*Национальный университет пищевых технологий*

**В.А. Мирошник**

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

*Используя метод полного факторного эксперимента, в статье разработано уравнение регрессии для определения содержания альдегидов в сортировке, очищенной шунгитом. Установлена адекватность полученного уравнения. На основании результатов исследований с применением пакета прикладных программ определены оптимальные параметры обработки сортировки шунгитом, а именно: длительность, температура процесса очистки и концентрация адсорбента.*

**Ключевые слова:** сортировка, адсорбционная очистка, шунгит, уравнение регрессии.