

## ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ПРИГОТУВАННЯ ВОДНО-СПИРТОВИХ РОЗЧИНІВ У ЛІКЕРО-ГОРІЛЧАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Для вибору оптимального технологічного процесу необхідно порівняти різні варіанти процесу, врахувати і проаналізувати вплив величезної кількості чинників на параметри виробу, і все це треба робити в обмежені терміни. До останнього часу ці питання вирішувалися інтуїтивно, на основі досвіду технолога, що пояснюється високою складністю процесу через велику кількість і різноманітність внутрішніх зв'язків. Тому нерідко вибирається некраший варіант процесу, некращі умови (режими) його проведення.

Існує математико-статистична база планування екстремальних експериментів. Найбільш поширеним є метод Бокса-Уілсона [1-7].

Аналіз сучасного стану лікєро-горілчаного виробництва дозволяє виявляти якісні характеристики рідин на вході і виході за різних умов процесу приготування водно-спиртових розчинів (сортівок).

Попередніми дослідженнями [8] встановлено вплив технологічної води на якісні показники сортівки. Обґрунтовано комплексний показник якості спирту, що використовується для виробництва горілки [9].

Діяльність лікєро-горілчаних заводів сьогодні в умовах конкурентної боротьби примушує технологів спрямовувати свої зусилля одночасно як на стабілізацію якісних показників горілки, так і на постійне їх підвищення. Це можливо тільки з використанням сучасних методів дослідження та обґрунтуванням умов реалізації технологічного процесу в цілому, а також окремих процесів, що здійснюються на відповідних етапах виробництва горілки.

Метою роботи є наукове обґрунтування постановки експерименту для визначення оптимальних умов процесу приготування водно-спиртового розчину під час виробництва горілки.

Як об'єкт дослідження процес приготування сортівки представлено схемою за [2, 10-12] у вигляді «чорного ящика», наведеною на рисунку 1.

Припускається, що нічого не відомо про внутрішню структуру досліджуваного об'єкта. Чорний ящик має входні (керовані чинники  $x_i$ ) і вихідні параметри - вихідну реакцію (параметри оптимізації  $y_i$ ).

Вхідні параметри  $x_i$ , що піддаються управлінню, представляють собою незалежні змінні, які можна застосовувати з метою управління вихідними параметрами об'єкта [2, 11, 12].

Чинниками - аргументами  $x_i$ , що впливають на вихідні параметри оптимізації  $y_i$ , служать параметри технологічного процесу:

$x_1$  – температура води, К;

$x_2$  – температура спирту, К;

$x_3$  – співвідношення води (зворотного осмосу та зм'якшеної води), %;

$x_4$  – час перемішування водно-спиртової суміші, с.

Критерієм оптимальності технологічного процесу  $y_i$  є характеристики сортівки:

$y_1$  – температура сортівки, К;

$y_2$  – величина підвищення температури від виділеної теплоти розчинення (утворення сортівки), К;

$y_3$  – органолептичні властивості (дегустаційна оцінка), бал;  
 $y_4$  – міцність сортівки, %;  
 $y_5$  – лужність, см<sup>3</sup>;  
 $y_6$  – рівень рН;  
 $y_7$  – масова концентрація альдегідів, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $y_8$  – масова концентрація сивушних масел, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $y_9$  – масова концентрація естерів, мг/дм<sup>3</sup>.

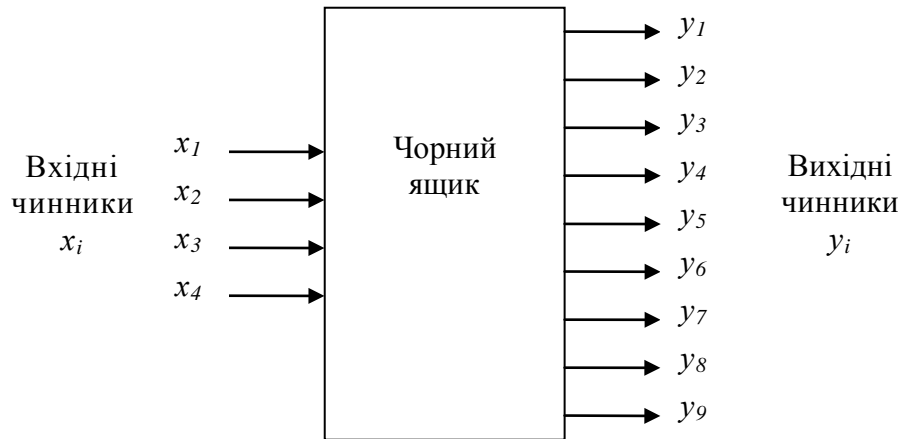


Рисунок 1 – Процес приготування сортівки для оптимізації параметрів

У процесі проведення експериментів керовані чинники  $x_i$  варіюють за спеціальним правилом – планом експерименту. Щоб виключити вплив систематичних помилок, викликаних зовнішніми умовами (змінюю температурі, сировини, лаборанта і т. д.), досліді рандомізовано в часі з використанням таблиці випадкових чисел. Для компенсації впливу випадкових погрешностей рекомендується кожен дослід повторювати два рази. За такого варіанту експеримент відрізняється підвищеною точністю, а математична обробка експериментальних даних – простотою [5].

Кількість дослідів повного факторного експерименту ПФЕ визначається за формулою (1):

$$n = 2^k \quad (1)$$

де  $k$  – кількість чинників, які варіюють на двох рівнях.

За чотирьох чинників, які варіюють на двох рівнях, з повторюваністю дослідів рівною двом, кількість дослідів буде дорівнювати 32, що потребує великих витрат спирту, технологічної води та часу.

Тому, для зменшення кількості дослідів, реалізовано дробовий факторний експеримент ДФЕ, кількість дослідів якого визначається за формулою (2):

$$n = 2^{k-p}, \quad (2)$$

де  $p$  – показник дробу, що приймає значення 1, 2, 3, і т.д.

Була обрана напіврепліка  $2^{4-1}$  з визначеним контрастом  $x_4 = x_1 x_2 x_3$ . У цьому випадку кількість дослідів дорівнює 16.

Ураховуючи діапазон значень температури технологічної води та спирту, які надходять у різні пори року, та можливі умови здійснення реального виробничого процесу, було визначено факторний простір досліджуваних чинників, а саме, верхній, нижній, нульовий рівні значень та крок їх варіювання.

Область факторного простору досліджень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Області досліджень варійованих параметрів

Чинник	Найменування чинника	Розмірність	Рівні параметра				
			Верхній	Нижній	Нульовий	Крок	
			+1	-1	0	-	
T <sub>вод.</sub>	x <sub>1</sub>	Температура води	К	298	284	291	7
T <sub>сп.</sub>	x <sub>2</sub>	Температура спирту	К	298	284	291	7
A	x <sub>3</sub>	Пропорції технологічної води	%	50	10	30	20
τ	x <sub>4</sub>	Час перемішування	с	1500	900	1200	300

У таблиці 2 наведено матрицю плану проведення дробового експерименту в кодованих значеннях.

Таблиця 2 – Матриця 2<sup>4-1</sup> в кодованих значеннях

Номер досліду	Випадковий порядок реалізації	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>
		Температура води	Температура спирту	Пропорції технологічної води	Час перемішування
1	13, 07	-1	-1	-1	-1
2	04, 10	1	-1	-1	1
3	03, 02	-1	1	-1	1
4	15, 01	1	1	-1	-1
5	08, 14	-1	-1	1	1
6	16, 12	1	-1	1	-1
7	09, 06	-1	1	1	-1
8	05, 11	1	1	1	1

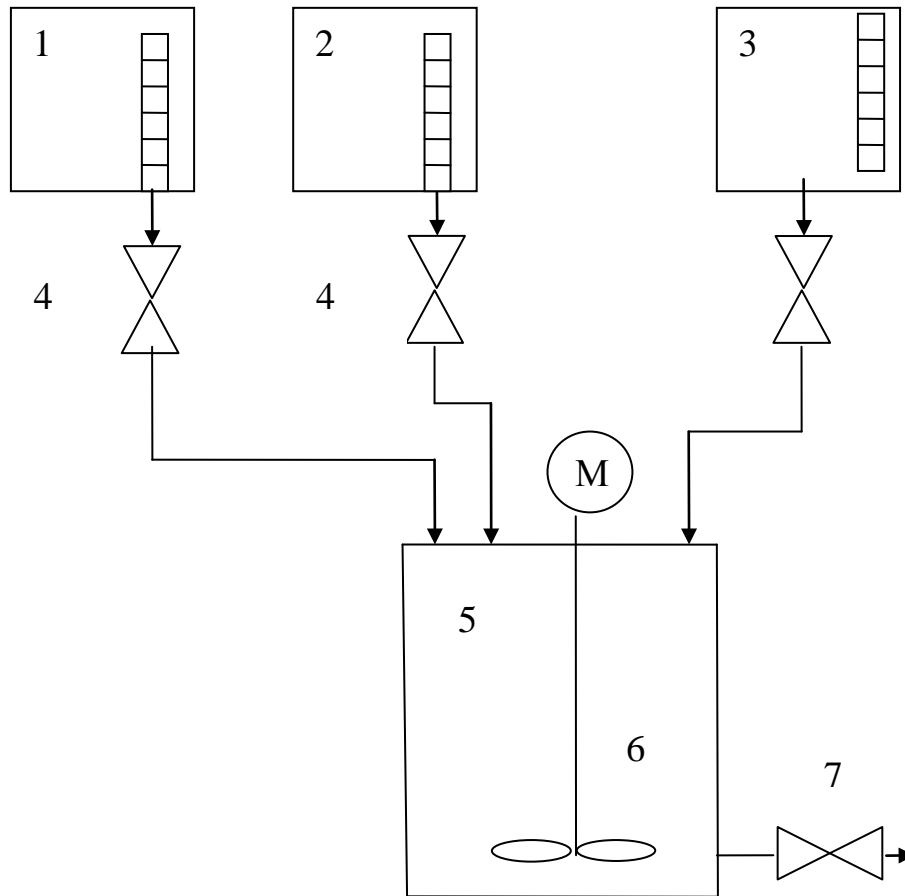
У результаті проведення експерименту визначаються вихідні параметри. Після статистичної їх обробки за спеціальною методикою будуть отримані математичні моделі залежності вихідних параметрів від вхідних, тобто параметрів оптимізації від керованих чинників у вигляді полінома:

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^{k-1} \sum_{l=j+1}^k \beta_{jl} x_j x_l + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \dots, \quad (3)$$

де  $y$  – вихідна змінна (цільова функція, або параметр оптимізації);  
 $x_j$  – вхідні змінні, або чинники ( $j = 1, k$ );

$k$  – число чинників.

Для проведення досліджень було розроблено експериментальний стенд, що дозволяє змоделювати процес створення сортівки, керувати вхідними чинниками, контролювати вихідні чинники – критерії оптимальності, принципову схему якого наведено на рисунку 2, а зовнішній вигляд на рисунку 3.



1 – ємність для зм'якшеної води; 2 – ємність для зворотноосмотичної води; 3 – мірник зі спиртом; 4 – крани; 5 – чан-змішувач; 6 – мішалка; 7 – кран для відбору проб.

Рисунок 2 – Принципова схема експериментального стенда дослідження процесу приготування сортівки

Спирт і вода змішується в чані-змішувачі 5, який є герметично закритим циліндровим резервуаром, забезпеченим лопатевою мішалкою 6. Поряд із чаном-змішувачем на майданчику встановлено: ємність із пом'якшеною водою, ємність із зворотноосмотичною водою і мірник зі спиртом. Ємності для води і спирту мають водомірні трубки з градуювальною шкалою.

Для охолодження спирту і води використовується холодильна камера з регулятором температури, виведеним на пульт управління.

Сортівка готується таким чином: спочатку у чан-змішувач подається розрахована кількість спирту, потім підготовлена вода; спирт з водою перемішується до отримання

однорідної суміші; проводиться відбір проби і в ній визначається міцність. За відхилення міцності від заданої, її коректують, після чого суміш повторно перемішують.

Указана послідовність подачі в чан-змішувач спирту і води прискорює процес приготування сортівки, оскільки спирт, густина якого менша від густини води, піднімаючись, сприяє кращому перемішуванню.

Приготування сортівки на експериментальному стенді триває майже одну годину і складається з наступних операцій, наведених в таблиці 3.



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд експериментального стенда

Таблиця 3 – Послідовність процесу приготування сортівки

Етапи виконуваних робіт	Час, с
Набір спирту в чані для сортівки	360
Набір води в чані для сортівки	360
Перемішування пропелерною мішалкою	900 і 1500
Визначення міцності сортівки	300
Розрахунок і коректування міцності з подальшим перемішуванням	600
Перекачування сортівки в напірний чан	120
Підсумок	2640 і 3240

Кількість спирту і води, необхідна для приготування сортування в заданому об'ємі, розраховували із застосуванням даних [13].

#### ВИСНОВКИ

Розроблено план проведення активного експерименту для оптимізації процесу приготування сортівки, який передбачає напіврепліку повного чотирьохфакторного ек-

сперименту. За параметри оптимізації процесу прийняті фізичні, хімічні та органолептичні показники якості.

Розроблено принципову схему експериментального стенда та відтворено в металі. Експериментальний стенд змонтовано, прокалібровано та підготовлено до проведення експерименту.

### Список літератури

1. Протодьяконов, М. Методика рационального планирования экспериментов [Текст] / М. Протодьяконов, Р. Тедер. – М. : Наука, 1970. – 76 с.
2. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.
3. Налимов, В. В. Логические основания планирования эксперимента [Текст] / В. Налимов, Т. Голикова. – М. : Metallurgiya, 1980. – 152 с.
4. Монтгомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных [Текст] : [пер. с англ.] / Д. К. Монтгомери. – Л. : Судостроение, 1980. – 384 с.
5. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184с.
6. Пен, Р. З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства [Текст] : учеб. пособие / Р. З. Пен. – Красноярск : Изд-во КГУ, 1982. – 192 с.
7. Ахназарова, С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Текст] : учеб. пособие / С. Ахназарова, В. Кафаров. – М. : Высш. шк, 1985. – 327 с.
8. Топольник, В. Г. Залежність показників якості технологічної води в лікерогорілчаному виробництві від пори року [Текст] / В. Г. Топольник, О. В. Кузьмін, А. Р. Баятян // Вісник ДонДУЕТ. Сер. : Техн. науки. – 2007. – №1(33). – С. 138-143.
9. Топольник, В. Г. Розробка методу кількісної оцінки якості спирту в лікерогорілчаному виробництві [Текст] / В. Г. Топольник, Н. Б. Федорова, О. В. Кузьмін // Вісник ДонДУЕТ. Сер. : Техн. науки. – 2006. – №1(29). – С. 111-118.
10. Реброва, О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ Statistica [Текст] / О. Реброва. – М. : Медиа Сфера, 2002. – 312 с.
11. Голубцова, Е. С. Статистические методы исследования конструкционной керамики [Текст] : моногр. / Е. С. Голубцова, Б. А. Каледин. – Минск : Технопринт, 2004. – 259 с.
12. Зедгенидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем [Текст] / И. Зедгенидзе. – М. : Наука, 1976. – 390 с.
13. Таблицы спиртометрические [Текст] : справ. пособие. – К. : УкрНИИспиртбиопрод, 2002. – 592 с.

---

*Жаден разум человеческий,  
Он не может ни остановиться,  
ни пребывать в покое,  
а прорывается все дальше.*

*Фрэнсис Бэкон*

---