

# Планування виробничих експериментів для багатofакторного дослідження технології сушіння торфу в парових трубчатих сушарках

Леонід Кулаковський, Євгеній Алтухов

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами, Національний технічний університет “Київський політехнічний інститут”, УКРАЇНА, м.Київ, вул.Борщагівська, 115, E-mail: kulakovskiy1@ukr.net

*Abstract – The paper highlights the necessity for planning the experiment in steam pipe dryers of peat for multivariate investigation of the drying process and for further searching power saving regimes of drying. Analysis of plans of experiments allowed to identify the main criteria for the construction plan of the experiment in steam pipe dryer. The basis for the planning of the experiment should take regime maps of tube steam dryers, which provide required quality of a dried peat and changing of control actions carry out in the range of operating conditions. In order to decrease the number of experiments, and also not to rid planning matrix its best features is necessary to develop fractional factorial experiment (FFE) and to identify fractional replica. The optimal experiment's plan for creating a mathematical model of the drying process is FFE  $2^{5-1}$  with shoulder  $g=1$  and experiments in the center of the plan.*

Ключові слова – планування експерименту, ядро плану, парова трубчатая сушарка, центральний композиційний план, математична модель, ефект взаємодії, дробна репліка.

## I. Вступ

Для виявлення характеру і ступеня взаємозв'язку між вхідними параметрами, що об'єктивно впливають на процес торфу в парових трубчатих сушарках і вихідними техніко-економічними показниками, потрібно провести системний аналіз процесу сушіння. Ефективне управління досить складним багатокритерійним процесом сушіння торфу неможливе без розробки математичних моделей з наступним пошуком оптимальних режимних параметрів.

Для отримання математичних залежностей зміни цільових функцій  $Y_j$  при різних рівнях значень регульованих параметрів  $X_i$  необхідно провести виробничі експерименти.

Планування активного виробничого експерименту дозволяє отримати досить достовірну інформацію про перебіг процесу сушіння торфу в парових трубчатих сушарках при мінімально можливій кількості дослідів. Обґрунтоване зниження кількості виробничих дослідів згідно математично розробленим планом дозволяє виключити суб'єктивну помилку при проведенні експерименту.

## II. Основна частина

Керуючими параметри процесу сушіння торфу в парових трубчатих сушарках є:

- завантаження сушарки сировиною,  $X_1$ ;
- частота обертання барабана сушарки,  $X_2$ ;
- тиск пари,  $X_3$ ;
- температура пари,  $X_4$ ;
- положення заслінки повітродувки,  $X_5$ .

Найбільш простим планом експерименту є повночинниковий експеримент (ПЧЕ) типу  $2^k$ , в якому досліджувані змінні варіюються на двох рівнях – максимальному та мінімальному, розташовані симетрично відносно деякого нульового рівня. Кількість дослідів визначається як  $N=2^k$  ( $k$  – кількість чинників). У всіх дослідях кожен фактор повинен порівнюватися на верхніх та нижніх рівнях. Плани ПЧЕ типу  $3^k$  характеризуються надмірною надлишковістю. Також можуть застосовуватися ортогональні або рототальні центральні композиційні плани (ЦКП). На практиці широке застосування знайшли два типи ЦКП: плани Бокса та Хартлі. Ядром плану Бокса є ПЧЕ  $2^k$  (при  $k < 5$ ) або дробний чинників експеримент (ДЧЕ). Такі плани являють собою симетричні плани другого порядку з ядром у вигляді ПЧЕ  $2^k$ , доповнені зірковими точками з плечем  $g=1$  та дослідями в центрі плану. Загальна кількість точок складає  $N = N_0 + 2k + 1$  ( $N_0 = 2^k$  – загальна кількість точок ядра плану). В кожній точці проводиться рівна кількість дослідів. Плани цього типу мають мінімальну кількість рівнів варіювання чинників, рівне трьом, що дозволяє більш точно витримувати режими роботи при натуральних дослідях в порівнянні з планами, в яких необхідна велика кількість рівнів зміни керованих змінних [3].

На підставі проведеного аналізу планів експерименту для дослідження режимних показників парової трубчатої сушарки торфу обрано:

- критерій мінімуму кількості дослідів – для проведення мінімальної кількості дослідів при дотриманні вимог до якості оцінки факторів;
- ненасичений ЦКП, що має мінімальну (достатню) кількість рівнів варіювання чинників – 3 рівні;
- ядром плану є ПЧЕ типу  $2^5$  – 5 чинників, 43 дослідів, що відповідає методу планування Хартлі [1].

Безпосередньо проведення дослідів з мінімальним і максимальним значенням керуючих змінних на виробництві не представляється можливим, оскільки це призведе до значного відхилення якості сушенки від встановлених нормативних показників і появи значного браку продукції.

Для отримання торфобрикетів необхідної якості і сушенки, зокрема, на заводі “Сойне”, визначені режимні параметри роботи технологічного обладнання в

ПЛАН АКТИВНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ТОРФУ  
В ПАРОВИХ ТРУБЧАСТИХ СУШАРКАХ

№ досл.	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
1	-1	+1	-1	+1	+1
2	-1	+1	+1	-1	+1
3	+1	-1	-1	+1	+1
4	+1	-1	+1	-1	+1
5	+1	+1	-1	+1	-1
6	+1	+1	+1	-1	-1
7	-1	-1	+1	+1	+1
8	-1	+1	+1	+1	-1
9	+1	-1	+1	+1	-1
10	-1	-1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	-1	-1
12	+1	-1	-1	-1	-1
13	-1	-1	+1	-1	-1
14	-1	-1	-1	+1	-1
15	+1	+1	-1	-1	+1
16	-1	0	1	0	0
17	-1	0	0	1	0
18	+1	0	-1	0	0
19	+1	0	0	-1	0
20	0	-1	+1	0	0
21	0	-1	0	+1	0
22	0	+1	-1	0	0
23	0	+1	0	-1	0
24	0	0	+1	0	-1
25	0	0	0	+1	-1
26	0	0	-1	0	+1
27	0	0	0	-1	+1
28	0	0	0	0	0

залежності від якості сировини. Саме тому за основу при здійсненні планування експерименту потрібно брати режимні карти і зміну керуючих впливів проводити в діапазоні режимних параметрів роботи сушарки Цемаг.

Повний факторний експеримент має велику надмірність дослідів, тому було б привабливим скоротити їх число за рахунок тієї інформації, яка є не надто суттєвою при побудові лінійних моделей. При цьому потрібно прагнути до того, щоб матриця планування не позбавлялась своїх оптимальних властивостей [2]. Для цього необхідно розробити ДЧЕ і виділити дробну репліку.

В умовах проведення дослідів на торфобрикетному заводі необхідно розробити такий план експериментів, що дозволив отримати сушенку в регламентованих якісних межах, зокрема отримання сушенки необхідної температури та вологості.

Збільшення вологості сировини викликає необхідність підвищення тиску і (або) температури пари в сушарці або зниження частоти обертання двигунів живильника і (або) сушарки та (або), в рідкісних випадках, зниження витрати повітря, тому, наприклад, співвідношення параметрів  $X_1 / X_3$  зростає.

І навпаки, зменшення вологості сировини призводить до його зниження. Чим більше потрібно випарувати вологи з одиниці маси сировини, тим більшим має бути співвідношення тиску (температури) пари і частоти обертання сушарки.

Саме тому при розробці плану експерименту необхідно врахувати, що при встановленні значень керуючих впливів  $X_3, X_4$  на максимально допустимому рівні в діапазоні значень режимної карти для отримання сушенки допустимої вологості та температури для виготовлення брикетів, необхідно значення  $X_1, X_2, X_5$  встановлювати на мінімально допустимому рівні, тому ефекти взаємодії  $X_3 X_4$  повинні прирівнюватися до ефектів взаємодії  $X_1 X_2 X_5$ .

Крім наведеного ядра експерименту для проведення виробничих експериментів необхідно провести виміри у випадку, коли лише один із керуючих параметрів приймає екстремальне значення, що відповідало ДЧЕ  $2^{5-1}$  доповненого зірковими точками з плечем  $g=1$  та дослідями в центрі плану. Проте згідно з виробничими умовами екстремальне значення  $X_1 (X_2, X_5)$  повинно бути скомпенсоване  $X_3 (X_4)$ .

Отже, остаточний план для проведення активних експериментів процесу сушіння торфугу представлений в табл. 1. Дослідження існуючих режимів сушіння торфугу для отримання оптимізаційної моделі процесу сушіння доцільно проводити 28-а дослідями. Дослід (-1) – вказує на мінімальне (+1) – максимальне, 0 – середній рівень встановлення регулюючого параметра для певних значеннях збурюючого впливу.

## Висновок

Планування активних експериментів режиму роботи парових трубчатих сушарках дозволило скоротити кількість проведених дослідів в умовах торфобрикетного заводу, скоротити вартість збору інформації, виключити суб'єктивну помилку при проведенні експерименту та підвищити інформативність отриманих даних. Оптимальним планом проведення експериментів для формування математичної моделі процесу сушіння є ДЧЕ  $2^{5-1}$  з плечем  $g=1$  та дослідями в центрі плану.

## References

- [1] A. Bondar, G. Statyukha, Planirovanie eksperimenta v himicheskoy tekhnologii [Planning the experiment in chemical technology]. Kyiv: Vyscha Shkola Publ., 1976.
- [2] Yu. Adler, E. Markova, Yu. Granovskiy, Planirovanie eksperimenta pry poiske optymal'nyh usloviy [Planning the experiment in searching of optimum conditions]. Moskva: Nauka Publ., 1971.
- [3] G. Krasovskiy, G. Filaretov, Planirovanie eksperimenta [Planning the experiment]. Voroneg: VGU Publ., 1982.