

Технічні науки

УДК 681.513

Плосконос Віктор Григорович

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*

Плосконос Виктор Григорьевич

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
доцент кафедры экологии и технологии растительных полимеров
Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"*

Ploskonos Viktor

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist, Assistant Professor of the
Department of Ecology and Plant Polymers Technology
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В РОЗРОБЦІ
ПЛАНІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СКЛАДНИХ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ ТА
КАРТОНУ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В
РАЗРАБОТКЕ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ И КАРТОНА**

**USING COMPUTER TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF
PLANS FOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF COMPLEX**

TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF PAPER AND CARDBOARD PRODUCTION

Анотація. Розроблено матрицю експерименту за використання критеріїв та спеціального діалогового програмного комплексу, що забезпечує максимальну інформативність та шумостійкість експериментальних досліджень процесу екстракції водорозчинних органічних речовин із волокнистих напівфабрикатів під час виробництва паперу та картону з мінімальним споживанням свіжої води.

Ключові слова: матриця експерименту, критерії максимальної інформативності, система водокористування, виробництво паперу та картону, органічні водорозчинні речовини.

Аннотация. Разработана матрица эксперимента с использованием критериев и специального диалогового программного комплекса, обеспечивающих максимальную информативность и помехоустойчивость экспериментальных исследований процесса экстракции водорастворимых органических веществ из волокнистых полуфабрикатов при производстве бумаги и картона с минимальным потреблением свежей воды.

Ключевые слова: матрица эксперимента, критерии максимальной информативности, система водопользования, производство бумаги и картона, органические водорастворимые вещества.

Summary. An experiment matrix was developed using criteria and a special interactive software package that provide maximum information and noise immunity of experimental studies of the process of extracting water-soluble organic substances from fibrous semi-finished products in paper and cardboard production with minimal fresh water consumption.

Key words: experiment matrix, maximum information content criteria, water use system, paper and cardboard production, organic water-soluble substances.

Технологічні процеси виробництва паперу та картону - це переважно процеси, які базуються на розгалужених взаємопов'язаних водопотоках між технологічним обладнанням процесу виробництва та очисними спорудами. За всіма ознаками такі технологічні процеси можуть бути віднесені до класу складних систем, тому і потребують особливого підходу до аналізу їх стану за використання топологічного методу аналізу [1; 2].

Аналіз літературних джерел та додаткові дослідження складних систем водокористування виробництва паперу та картону за мінімального споживання свіжої води дало можливість визначитися з областю експериментальних досліджень, а також факторами процесу екстракції органічних речовин із волокнистих напівфабрикатів, які, в кінцевому варіанті, матимуть визначальний вплив на стан зворотних та стічних вод [3].

Таким чином, **метою даної статті** є використання комп'ютерних технологій для розробки плану (матриці) експериментальних досліджень з подальшим створенням адекватних математичних моделей, які придатні для цілей моделювання, а саме: для прогнозування рівнів забруднення водопотоків виробництва паперу та картону водорозчинними органічними, а також мінеральними компонентами.

Синтез таких планів відбувається за використання критеріїв та спеціального діалогового програмного комплексу, що забезпечує максимальну інформативність, а також (що дуже важливо) шумостійкість експериментальних досліджень [4]. Призначенням програмного комплексу є побудова багаторівневих (більше двох рівнів) планів активного експерименту. Такий підхід гарантує отримання максимально можливого обсягу інформації стосовно поведінки складного об'єкта, що вивчається, за фіксованого числа дослідів. Априорі відомості про структуру залежностей між відгуками (параметрами оптимізації) і факторами відсутні.

Як відомо, експеримент є найважливішим етапом багатьох фундаментальних і прикладних досліджень. Активний експеримент

проводиться з метою "розвідувального" аналізу досліджуваного об'єкту та подальшого синтезу адекватної йому математичної моделі. Результати експериментальних досліджень дозволяють оцінити поведінку складного об'єкта за значеннями, що їх отримують вихідні змінні відгуки, обумовлені змінами вхідних параметрів (факторів).

Разом з тим, для розв'язання задач прогнозування, непрямого виміру і оптимального керування необхідна наявність моделей, що дозволяють передбачити значення відгуків у станах (точках факторного простору), які не досліджувалися в процесі проведення експерименту. Оскільки такі моделі створюються на підставі даних експерименту, то регресійна модель принципово не дозволяє одержати інформації про об'єкт більше, ніж цієї інформації потенційно накопичено в процесі проведення експерименту та зафіксовано у вигляді таблиці даних.

Таким чином, для синтезу регресійної моделі, яка буде адекватною досліджуваному об'єкту, необхідно одержувати експериментальні дані в точках, які максимально відбивають різні його стани за обмеженого числа дослідів.

Сучасна теорія статистичного планування експерименту базується на припущенні, що модель об'єкта відома з точністю до коефіцієнтів. Це дозволяє знизити вимоги до інформативності плану: враховуються всього 2-3 рівня варіювання факторів, а досліді концентруються на границі області експерименту. За порушення прийнятого припущення різко зростає ймовірність прояву вкрай небажаних наслідків, викликаних побудовою моделі, яка є неадекватною до об'єкту, а саме: грубі похибки в прогнозуванні та прийнятті рішень та інше.

В такому випадку необхідно використовувати додаткові критерії для побудови інформативного плану експерименту за значного обмеження області перебору варіантів.

Вказані вимоги можна забезпечити, використовуючи критерії:

- максимуму мінімальної міждослідної відстані

$$d_{\min} = \min_{l,k} \left[\sum_{j=1}^M x_{lj} \otimes x_{kj} \right] \rightarrow \max; \quad l, k \in \overline{1, N}; \quad l \neq k, \quad (1)$$

$$\text{де } x_{lj} \otimes x_{kj} = \begin{cases} 0 & \text{і } \delta \text{є } x_{lj} = x_{kj}; \\ 1 & \text{і } \delta \text{є } x_{lj} \neq x_{kj} \end{cases};$$

- максимуму евклідової відстані

$$\rho_{\min} = \min_{l,k} \left[\sum_{j=1}^M (x_{lj} - x_{kj})^2 \right]^{1/2} \rightarrow \max \quad (2)$$

Таким чином, критерій d_{\min} у виразі (1) забезпечує максимум ентропійної оцінки, яка розраховується за викреслювання будь-якого стовпця, їх пари, трійки і т.д в матриці експерименту.

Критерій ρ_{\min} у виразі (2) максимізує обхват області експерименту, що також є умовою підвищення його інформативності і сприяє мінімізації дисперсій оцінок коефіцієнтів моделі незалежно від її структури.

Потрібно відмітити, що ефективним є використання критеріїв в послідовності (1) – (2).

Спеціально створений програмний комплекс реалізує оригінальний метод планування експерименту, що базується на наступних реалістичних передумовах:

- для досліджуваного об'єкта задано (можливо з надлишком) вихідний список усіх релевантних (суттєвих) факторів і відгуків;
- один і той самий план експерименту бажано використовувати для вимірювання в кожному з дослідів не одного, а декількох відгуків;
- склад істотних факторів для різних відгуків може змінюватися;
- вид залежностей, що зв'язують відгуки з істотними для них факторами, апіорі невідомий;
- достовірні статистичні характеристики похибок вимірювання відгуків і відомості про характер їх розподілу відсутні;
- кількість дослідів обмежена фінансовими та часовими ресурсами.

Перераховані передумови обумовлюють наступні вимоги до методу синтезу інформативних планів:

- варіювання кожного фактору проводиться не менш, ніж на чотирьох дискретних рівнях;
- максимально рівномірне (просторове та пофакторне) покриття області експерименту за фіксованого числа дослідів;
- можливість врахування специфічних обмежень Користувача.

Облік перших двох вимог дозволяє отримати "максимум інформації" стосовно різних станів об'єкта, не залучаючи додаткових припущень про структуру моделі та про ступінь значимості того або іншого фактора.

Тим самим створюються сприятливі умови для розв'язку наступних задач:

- "розвідувальний" аналіз маловивченого об'єкта;
- структурно-параметрична ідентифікація об'єкта за експериментальними даними;

Програмний комплекс є унікальним програмним продуктом, що забезпечують побудову кінцевої множини максимально інформативних планів, з яких можливо вибрати компромісний варіант, керуючись оціночними показниками якості планів та різними додатковими вимогами, а також наявними у розпорядженні дослідника тимчасовими та фінансовими ресурсами на проведення експерименту.

У табл. 1 наведено рівні варіювання всіх факторів, які було досліджено в процесі попереднього вивчення складної технологічної системи виробництва паперу та картону і які визначають процес екстракції органічних речовин із волокнистих напівфабрикатів.

Таблиця 1

Фактори, що визначають процес екстракції органічних речовин із волокнистих напівфабрикатів та рівні їх варіювання

Фактори та їх позначення	Рівні варіювання					Інтервал варіювання
	+2	+1	0	-1	-2	
Вміст водорозчинних органічних речовин у волокнистій сировині, кг\т – X_1	31,0	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0
Відношення показників ХСК\БСК ₅ у водній витяжці волокнистої сировини – X_2	6,83	5,47	4,12	2,77	1,42	1,35

Відношення показників БСК ₅ \ орг. частина у водній витяжці волокнистої сировини – X ₃	0,84	0,68	0,52	0,36	0,20	0,16
Температура зворотньої води для розбавлення маси, °С – X ₄	90,0	72,0	54,0	36,0	18,0	18,0
Ступінь млива маси, °ШР – X ₅	55,0	47,5	40,0	32,5	25,0	7,5
Масова доля волокна, % – X ₆	3,0	2,3	1,6	0,9	0,25	0,7
Масова концентрація розчинних органічних речовин у зворотній воді, мг\л – X ₇	1036	784	532	280	29	252
Відношення показників ХСК\БСК ₅ у зворотній воді – X ₉	4,83	4,01	3,19	2,37	1,55	0,82

В якості матриці експерименту, за результатами якої буде проведена розробка математичних моделей, приймається матриця знаків дробного факторного експерименту (ДФЕ) 2^{8-4} з наступними ефектами взаємодії: $X_4 = X_1 * X_3$; $X_5 = X_1 * X_2 * X_8$; $X_6 = X_2 * X_3 * X_8$; $X_7 = X_1 * X_3 * X_8$.

Виходячи із логіки співвідношення рівнів факторів, що є важливим на стадії реалізації матриці експерименту, лінійні ефекти надані таким факторам, як X₁, X₂, X₃, X₈.

Використання критеріїв (1), (2) надало можливість розробити матрицю експериментальних досліджень (табл. 2), яка відповідає вимогам максимально можливої інформативності $d_{\min} = 3$, шумостійкості та економічності.

Таблиця 2

Матриця експериментальних точок для ідентифікації процесу екстракції водорозчинних органічних речовин

№ точки	ФАКТОРИ							
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
1	-1/15	-1/2,77	-1/0,36	+2/90	-1/32,5	-1/0,90	-2/29	-2/1,55
2	-1/15	+2/6,83	-2/0,20	+1/72	+2/55,0	+2/3,0	-2/29	-2/1,55
3	-2/10	-1/2,77	-1/0,36	+1/72	+2/55,0	+2/3,0	+2/1036	+2/4,83
4	-1/15	+2/6,83	-1/0,36	+2/90	-2/25,0	-2/0,25	+2/1036	+1/4,01
5	-2/10	-1/2,77	+2/0,84	-2/18	-1/32,5	+1/2,30	+1/784	-1/2,37

6	-1/15	+1/5,47	+2/0,84	-2/18	+2/55,0	-2/0,25	+1/784	-2/1,55
7	-2/10	-2/1,42	+1/0,68	-1/36	+1/47,5	-1/0,90	-1/280	+2/4,83
8	-2/10	+1/5,47	+2/0,84	-1/36	-1/32,5	+1/2,30	-1/280	+1/4,01
9	+2/31	-1/2,77	-1/0,36	-2/18	+1/47,5	-1/0,90	+2/1036	-1/2,37
10	+1/25	+2/6,83	-2/0,20	-1/36	-2/25,0	+2/3,0	+2/1036	-2/1,55
11	+1/25	-2/1,42	-2/0,20	-2/18	-2/25,0	+2/3,0	-2/29	+2/4,83
12	+1/25	+1/5,47	-2/0,20	-1/36	+2/55,0	-2/0,25	-2/29	+2/4,83
13	+2/31	-2/1,42	+1/0,68	+2/90	+1/47,5	+1/2,30	-1/280	-1/2,37
14	+2/31	+2/6,83	+1/0,68	+1/72	-2/25,0	-2/0,25	-1/280	-1/2,37
15	+1/25	-2/1,42	+2/0,84	+1/72	-1/32,5	-1/0,90	+1/784	+1/4,01
16	+2/31	+1/5,47	+1/0,68	+2/90	+1/47,5	+1/2,30	+1/784	+1/4,01
17	0/20	0/4,12	0/0,52	0/54	0/40	0/1,60	0/53,2	0/3,19

Примітка: у лівому верхньому куті наведено кодоване значення фактору, а у правому нижньому - значення фактору в натуральному виразі

Висновки. Для дослідження складних процесів, до класу яких відноситься екстракція органічних речовин із волокнистих напівфабрикатів, розроблено план експериментальних досліджень. Синтез планів такого класу відбувається за використання критеріїв та спеціального діалогового програмного комплексу, що забезпечує максимальну інформативність, а також шумостійкість експериментальних досліджень.

Подальшим кроком дослідження є створення з використанням комп'ютерних технологій адекватних математичних моделей, які придатні для цілей моделювання, а саме: для прогнозування рівнів забруднення водопотоків виробництва паперу та картону водорозчинними органічними, а також мінеральними компонентами.

Література

1. Плосконос В. Г. Аналіз стану систем картонно-паперового виробництва з мінімальним споживанням свіжої води // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". – 2017. – №15(37). - т.1. - С. 52-55. DOI: 10.25313/2520-2057-2017-15-3055;
2. Плосконос В. Г. Використання топологічного методу для відображення структурних аспектів складних технологічних систем // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". – 2017. – № 17(39). – т.1, с. 66-69, DOI: 10.25313/2520-2057-2017-17-3161.
3. Плосконос В. Г. Процес накопичення водорозчинних мінеральних і органічних речовин в системах оборотного водокористування - як об'єкт моделювання // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". – 2018. – № 6(46). – т.1. - С. 39-43.
4. Кикоть В.С., Плосконос В.Г. Идентификация характеристик сложных проектируемых систем с использованием самоорганизации и топологического метода анализа. – Автоматика. – 1986. – №3. – С. 34-42.