

ПЛОСКОНОС В. Г., к.т.н., доц.; ЯКИМЕНКО О. С., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОГО ВРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАТИВНИХ ПЛАНІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ В ДОСЛІДЖЕННІ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ

З метою розроблення матриці експерименту використано критерії та спеціальне програмне забезпечення методу групового врахування аргументів (МГУА), 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.

© Плосконос В. Г., Якименко О. С., 2019.

Постановка задачі. 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 попередніх досліджень. 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].

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).

Невирішеною частиною проблеми з практичної точки зору є те, що для розв'язання задач прогнозування, непрямого виміру і оптимального керування необхідна наявність моделей, які дозволяють передбачити значення відгуків у станах (точках факторного простору), що 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.

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.

Виклад основного матеріалу. 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 досліди 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

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

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

- 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 у виразі (1) забезпечує максимум ентропійної оцінки, яка розраховується за викреслювання будь-якого стовпця, їх пари, трійки і т.д в матриці експерименту.

Критерій у виразі (2) максимізує обхват області експерименту, що також є умовою підвищення його інформативності і сприяє мінімізації дисперсії 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, апріорі 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 експериментальним 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 ви-вчення 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\г – 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) 2⁸⁻⁴ з наступними ефектами взаємодії: X₄ = X₁ * X₃; X₅ = X₁ * X₂ * X₈; X₆ = X₂ * X₃ * X₈; X₇ = X₁ * X₃ * X₈.

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.

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.

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.

Перспективи подальших 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.

Список використаної літератури

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.

Надійшла до редакції 12.03.2019

Ploskonos V. G., Yakymenko O. S.

USE OF THE METHOD OF GROUP ARGUMENTS ACCOUNTING TO DEVELOP INFORMATIVE EXPERIMENT PLANS IN THE RESEARCH OF PAPER AND PAPERBOARD PRODUCTION SYSTEMS

Technological processes of paper and paperboard production are mainly the processes based on branched interconnected water streams between technological equipment of the production process and treatment facilities.

By all signs, such technological processes can be classified into a class of complex systems, and therefore require a special approach to the analysis of their state using the topological analysis method [1,2].

The analysis of literary sources and additional research of complex water systems for paper and paperboard production with minimal fresh water consumption made it possible to determine the scope of experimental researches as well as factors of the process of organic substances extraction from fibrous semi-finished products, which, ultimately, will have a decisive influence on the return and waste water state [3].

As known, the experiment is the most important step in many fundamental and applied researches. An active experiment is carried out for "intelligence" analysis of the researched object and further synthesis of mathematical model that is adequate to it. The results of experimental studies allow to estimate the behavior of a complex object in terms of values that are obtained by output variable responses due to changes of input parameters (factors).

For solving of forecasting problems, indirect measurement and optimal control, it is necessary to have models that allow predicting of the responses values in states (points of the factor space) that were not researched during the experiment. Since such models are created on the experimental data, the regression model basically does not allow to obtain information about the object more than this information is potentially accumulated during the experiment and recorded as a data table.

The purpose of this article is the use of computer technologies to develop a plan (matrix) of experimental research with the further development of adequate mathematical models that are suitable for modelling purposes, namely: for forecasting of pollution levels of water streams of paper and paperboard production with water-soluble organic, as well as mineral components.

The synthesis of such plans takes place through the use of criteria and a special dialog software that provides maximum informativity, and also (which is very important) the soundproof of experimental researches [4].

The purpose of the software complex is to construct multilevel (more than two levels) plans for an active experiment. This approach ensures that the maximum amount of information available regarding the behavior of a complex subject under study is determined on a fixed number of experiments. There are no prior information about the structure of dependencies between responses (optimization parameters) and factors.

The modern theory of statistical planning of the experiment is based on the assumption that the object model is known to the accuracy of the coefficients. That allows to reduce the requirements for the plan informativeness: only 2-3 levels of factors variation are taken into account, and the experiments are concentrated on the limit of the experiment area. The breach of the adopted assumption sharply increases the probability of manifestation of extremely undesirable consequences caused by the construction of a model that is inadequate to the object, namely: flagrant errors in forecasting and decision making, and so on.

In this case, it is necessary to use additional criteria for constructing an informative experiment plan by a significant restriction of the area of search versions.

The specified requirements can be achieved using the criteria: the maximum of the minimum inter-experiment distance (1) and the maximum Euclidean distance (2).

Thus, criterion (1) provides the maximum of an entropy estimate, which is calculated by the elimination of any column, their pair, triplet, etc. in the matrix of the experiment.

Criterion (2) maximizes the scope of the experiment, which is also a condition for increasing its informativity and contributes to minimize the estimates variation of the model coefficients independently of its structure.

It should be noted that the use of the criteria in sequence (1) - (2) is effective.

A specially created software complex realizes the original method of an experiment.

planning .

Thus, in the article for the research of complex processes, where the extraction of organic substance from fibrous semi-finished products belongs, a plan of experimental research has been developed. Synthesis of such plans is going on with the use of criteria and a special dialogue software system, which provides maximum informativity, as well as soundproof of experimental research.

The next step of the study is the creation, using computer technologies, of adequate mathematical models that are suitable for modelling purposes, namely: for forecasting the levels of water streams pollutions of paper and paperboard production with water-soluble organic, as well as mineral components.

Key words: *experiment matrix, criteria of maximum informativeness, water system, paper and paperboard production, organic water-soluble substances.*

References

1. Ploskonos V.G. State analysis of paperboard and paper production systems with minimal consumption of fresh water // Mizhnarodnyj naukovyj zhurnal "Internauka". - 2017.- No.15 (37)., vol.1, pp.52-55. DOI: 10.25313 / 2520-2057-2017-15-3055;
2. Ploskonos V.G. Using of the topological method for the reflection of the structural aspects of complex technological systems // Mizhnarodnyj naukovyj zhurnal "Internauka". .-2017 - No. 17 (39), vol.1, pp. 66-69, DOI: 10.25313 / 2520-2057-2017-17-3161.
3. Ploskonos V.G. The process of accumulation of water-soluble mineral and organic substances in circulating water systems - as an object of modeling // Mizhnarodnyj naukovyj zhurnal "Internauka". - 2018. - No. 6 (46), vol. 1, pp. 39-43.
4. Kikot V.S, Ploskonos V.G. Identification of characteristics of complex projected systems using self-organization and topological analysis method. - Avtomatika, 1986, No. 3, pp. 34-42