

Технічні науки

УДК 676: 681.3

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"*

**МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ НОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ З
ВИКОРИСТАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БУМАГИ И КАРТОНА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ И КОМПЬЮТЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ
METHODOLOGY OF NEW PAPER AND APERBOARD
BASED COMPOSITE MATERIALS DEVELOPMENT WITH USE OF
INNOVATIVE AND COMPUTER TECHNOLOGIES**

Анотація. В роботі запропоновано методологію, яка, базуючись на застосуванні сучасних комп'ютерних технологій, може бути використана з метою вирішення інноваційних пропозицій, що стосуються подальших досліджень з розробки та створення серії сучасних екологічно безпечних композиційних матеріалів на основі целюлозних матеріалів, а саме: паперу та картону. Запропонована в даній статті методологія включає такі етапи, як планування експерименту на базі попередньо визначених факторів, що дає можливість експериментатору отримати максимально можливий обсяг інформації за незначної кількості експериментальних точок, оптимально розташованих у факторному просторі. А також створення на основі результатів експериментальних досліджень математичних моделей, що за своєю структурою адекватно описують складні за своєю природою процеси та придатні для цілей моделювання і пошуку оптимальних умов функціонування об'єктів, які досліджуються.

Ключові слова: целюлоза, папір, картон, композиційний матеріал, екологічна безпека, комп'ютерні технології, інновації.

Аннотация. В работе предложена методология, которая, основываясь на применении современных компьютерных технологий, может быть использована с целью решения инновационных предложений, касающихся дальнейших исследований по разработке и созданию серии современных экологически безопасных композиционных материалов на основе целлюлозных материалов, а именно: бумаги и картона. Предложенная в данной статье методология включает такие этапы, как планирование эксперимента на базе предварительно определенных факторов, дает возможность экспериментатору получить максимально возможный объем информации при незначительном количестве экспериментальных точек, оптимально расположенных в факторном пространстве. А также создание на основе результатов

експериментальних досліджень математических моделей, по своей структуре адекватно описывающих сложные по своей природе процессы и пригодны для целей моделирования и поиска оптимальных условий функционирования объектов, которые исследуются.

Ключевые слова: целлюлоза, бумага, картон, композиционный материал, экологическая безопасность, компьютерные технологии, инновации.

Summary. The paper proposes a methodology based on the application of modern computer technologies, that can be used to address innovative proposals for further researches on the development and creation of a series of modern environmentally friendly composite materials based on cellulosic materials, namely: paper and paperboard. The methodology proposed in this article includes such steps as planning of an experiment based on predefined factors, which enables the experimenter to obtain the maximum possible amount of information at a small number of experimental points optimally located in the factor space. And also the creation of mathematical models based on the results of experimental studies, which by their structure adequately describe by their nature complex processes and are suitable for the purpose of modeling and finding the optimal functioning conditions of the objects under study.

Key words: cellulose, paper, paperboard, composite material, environmental security, computer technology, innovation.

На сьогоднішній день, у зв'язку із ситуацією, що складається в екологічній сфері нашого повсякденного життя, та приєднанням України з наступного року до держав світу, в яких забороняється використання в якості упаковки пластикових пакетів, у суспільства виникає запит на інновації щодо створення нових пакувальних матеріалів на основі паперу і картону, в тому числі комбінованих з високим комплексом структурно-фізичних та експлуатаційних властивостей і конкурентоспроможних на

Європейському та міжнародному ринках.

В даній роботі пропонується актуальна на даний момент методологія ефективного поєднання інноваційних та сучасних комп'ютерних технологій з метою вирішення проблем, що виникають під час планування та створення прогресивних композиційних матеріалів, в основу яких закладається папір або картон.

Як відомо [1], упаковка має виконувати ряд важливих функцій, а саме: захищати продукт, що упаковується, мати зручну функціональність, виступати в якості інструменту маркетингу, а також бути інформативною і екологічно безпечною. На жаль, до сьогодення розробники пакувальних матеріалів не завжди знаходили раціональний компроміс між вказаними функціями упаковки. Здебільшого в цьому компромісі потерпала така важлива функція упаковки, як екологічність: вимоги якої дуже часто ігнорувалися, враховуючи економічну складову. Разом з тим, питання захисту довкілля в умовах інтенсивного розвитку пакувальної галузі, заборона упаковки у вигляді поліетиленових пакетів, змушує як виробників упаковки, так і споживачів товарів та продуктів зрозуміти, до яких незворотних катаклізмів може призвести бездіяльність щодо поводження з відходами пакувальної галузі [1].

Зважаючи на факти, що вище викладені, всі, хто певним чином пов'язаний і розуміється на пакуванні, не буде заперечувати, що папір або картон, що виготовляється з целюлози, може складати основу композиційних, в т. ч. комбінованих матеріалів [1]. Целюлоза – це найбільш розповсюджений природний полімер [2], який залишається одним з головних і найважливіших видів вихідної сировини в паперовій, поліграфічній і текстильній промисловості, а також у виробництві штучних матеріалів і плівок. Вироби, в основі яких целюлозний напівфабрикат, легко піддаються утилізації, з метою повторного використання. Серед інших природних і синтетичних полімерів целюлоза

займає і, за рядом техніко-економічних факторів, буде займати і в найближчі роки одне з провідних місць [2]. Разом з тим, зважаючи на високий запит на целюлозу, одним з реальних джерел вирішення проблеми сировинної бази для України, країни з обмеженими лісовими запасами, актуальним є широке використання однорічних рослин і відходів переробки сільськогосподарської продукції. Отримання з них волокнистих напівфабрикатів – целюлози, напівцелюлози та хіміко-термомеханічної маси на основі прогресивних досягнень науки і техніки є важливою наукомісткою проблемою, що має важливе народногосподарське значення для економіки країни [3].

Як показує практика, чисто целюлозний папір сам по собі є матеріалом, якому надано того або іншого комплексу споживчих і експлуатаційних властивостей, в т. ч. специфічних чи спеціальних [2]. Разом з тим, науково-технічний прогрес у різних галузях економіки вимагає створення матеріалів із властивостями, яких неможливо досягти, якщо використовувати тільки чисто целюлозну сировину. Все більш важлива роль відводиться композиційним матеріалам, в т. ч. на основі паперу та картону за конструкційним та функціональним призначенням. Таким чином, целюлозними композиційними матеріалами називаються матеріали, які складаються з целюлозного (в якості основи) та нецелюлозного компонента, причому, армуючу функцію виконує целюлозна складова, а саме: целюлозні волокна та сформовані з них папір чи картон [1].

Використовуючи особливі властивості мікроструктури целюлозних і нецелюлозних волокон, дослідник має змогу розробити технологію виготовлення матеріалів широкого спектру використання. Це, наприклад, композиційні матеріали, які здатні розсіювати направлені потоки світла, поглинати звук, адсорбувати гази і хімічні жирні сполуки, утримувати різні речовини та тепло за низьких чи високих температур.

Таким чином, використання інших допоміжних хімічних речовин і компонентів та застосування відповідних технологій надає можливість отримати композиційний матеріал зовсім іншого призначення. Важливим в отриманні композиційних картонно-паперових матеріалів і виробів з них з новими і заданими спеціальними властивостями є з'єднання паперу з іншими компонентами, сполучення мінеральних, целюлозних, синтетичних волокон і смол.

Аналізуючи ситуацію у світі щодо порушеної проблеми, можна відзначити, що в розвинених країнах питанням розробки та освоєння виробництва комбінованих матеріалів на основі паперу і картону з застосуванням мінеральних і синтетичних речовин приділяється дуже велика увага [1].

Отже, **метою даної статті** є інноваційні ідеї, які, базуючись на застосуванні сучасних комп'ютерних технологій, дадуть подальший поштовх до розробки екологічно безпечних композиційних матеріалів на основі целюлози, а саме: паперу та картону. Суть інноваційних пропозицій в наступному.

Відомо [1], що однією із важливих є вимога, яка висувається до пакувальних матеріалів, призначених для фасування продуктів харчування з високим питомим вмістом жиру. Головним призначенням матеріалу з бар'єрними і захисними властивостями – це створення захисного шару, який запобігає міграції будь-яких речовин до упакованого продукту зовні або з паперу (картону). Дуже важливим також є збереження початкової міцності упаковки у вологому середовищі, забезпечення захисних вимог, а саме: необхідного рівня опору проникненню води, пари, жиру, масла, газу, запахів, збереження форми і зовнішнього вигляду пакування. Досить жорсткі вимоги ставляться до упаковки відносно впливу на смакові властивості і термінів зберігання продукції.

Також такі види пакувальних матеріалів можуть в подальшому

використовуватися замість пергаменту, який до сьогодні є високоякісним жиром- і вологоміцним пакувальним матеріалом для харчової промисловості. Але, разом з тим, технологія одержання пергаменту, яка заснована на хімічній пергаментзації попередньо виготовленого паперу висококонцентрованою сірчаною кислотою [4], є екологічно небезпечною, вимагає складної системи очищення стічних вод і спеціального устаткування.

На даний період також актуальною є задача розробки екологічно безпечного складу компонентів для просочування та його використання з метою створення пакувальних матеріалів нового покоління із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій, які максимально мають задовольняти вимоги екологічної безпеки та не створювати проблем під час їх утилізації. Свого часу в Українському науково-дослідному інституті паперу була проведена серія експериментальних досліджень [6], під час яких був розроблений та детально проаналізований олеофобний склад з метою підвищення жиронепроникності пакувальних матеріалів. З плином часу вимоги змінюються, життя вимагає нових екологічно безпечних розробок. Тому пропонується, на базі напрацьованих ідей [6], найближчим часом розширити до сучасних вимог спектр дії просочувального комплексу, базуючись на застосуванні запропонованих в даній статті комп'ютерних технологій. Все це разом послужить подальшим поштовхом до розробки екологічно безпечних композиційних матеріалів на основі паперу та картону.

Процес доведення інноваційної ідеї до кінцевого результату, у відповідності із запропонованою методологією, включає такі етапи, а саме:

- планування експерименту на базі попередньо визначених факторів, що дає можливість експериментатору отримати максимально можливий обсяг інформації за незначної кількості експериментальних точок, оптимально розташованих у

факторному просторі;

- створення на основі результатів експериментальних досліджень математичних моделей, що за своєю структурою адекватно описують складні за своєю природою процеси та придатні для цілей моделювання і пошуку оптимальних умов функціонування об'єктів, які досліджуються.

Синтез анонсованих планів експерименту відбувається за використання критеріїв та спеціальної методології, яка забезпечують максимальну інформативність, а також (що дуже важливо) шумостійкість експериментальних досліджень [6-9]. Призначенням програмного комплексу, що реалізує заданий алгоритм, є побудова багаторівневих (більше двох рівнів) планів активного експерименту [8]. 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.

Теорія статистичного планування експерименту базується на припущенні, що модель об'єкта відома з точністю до коефіцієнтів [8]. Це дозволяє експериментатору знизити вимоги до інформативності плану: враховуються при цьому всього лише 2-3 рівня варіювання факторів, а досліді сконцентрувати на границі області експерименту. Разом з тим, якщо порушуються умови прийнятого припущення, то різко зростає ймовірність прояву вкрай небажаних наслідків, викликаних побудовою моделі, яка є неадекватною до об'єкту, виникають грубі похибки в прогнозуванні та прийнятті рішень і таке інше.

З метою уникнення вищеназаних проблем, пропонується використання додаткових критеріїв для побудови інформативного плану експерименту за значного обмеження області перебору варіантів [8].

Вказані вимоги можна забезпечити, використовуючи критерії:

- максимуму мінімальної міждослідної відстані

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

$$x_{lj} \otimes x_{kj} = \begin{cases} 0 & \text{якщо } x_{lj} = x_{kj}; \\ 1 & \text{якщо } x_{lj} \neq x_{kj}; \end{cases}$$

де

- 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 $\rho_{\min}$ 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) [8].

Передумовами обумовлюються наступні вимоги до методу синтезу інформативних планів:

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

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;

Разом з тим, в основу задачі структурної ідентифікації (пошук структури моделі та її коефіцієнтів) покладено принцип "чорного ящика", коли причинно-наслідкові зв'язки між вхідними факторами та вихідними параметрами вважаються невідомими [10]. Також вважається, що існує певна функція, яка адекватно відображає реакцію об'єкта (його поведінку) на вхідні сигнали.

Після реалізації експериментальних досліджень, задачею структурної ідентифікації є побудова оптимальної, в деякому розумінні, моделі, що враховує всі вхідні і вихідні сигнали [10]. Разом з тим, допускається, що значення вхідних змінних (факторів) є детермінованими, а вихідні характеристики – випадкові величини в результаті впливу "шумів" (випадкових похибок вимірювань, неврахованих перешкод, що не піддаються контролю і т.п.).

В зв'язку з цим, результатом структурної ідентифікації є оцінки:

$$\tilde{y}_s = \tilde{M} \left[\frac{Y_s}{x} \right] = \tilde{F}_s(x, a), \quad s = \overline{1, L+R}, \quad (3)$$

де $M[\cdot]$ - оцінка математичного очікування s -ої характеристики об'єкта за заданого x .

Y_s – виміряне значення характеристики, яке складається із суми регулярного сигналу y_s і випадкової похибки ξ : $Y_s = y_s + \xi$;

$F[\cdot]$ - оцінка істинної характеристики;

$L+R$ - визначає в просторі вхідних змінних область допустимих рішень з урахуванням функціональних і критеріальних обмежень.

Під час ідентифікації складних багатofакторних систем найбільш

ефективним є метод самоорганізації математичних моделей, а саме метод групового урахування аргументів (МГУА) [8], який базується на тому, що оперуючи тільки набором експериментальних даних, які використані для визначення оцінок коефіцієнтів за методом найменших квадратів (МНК), неможливо віднайти найкращу, єдину модель.

Для цього потрібно скористатися деяким зовнішнім критерієм, яким, наприклад, може бути похибка, що вираховується на новій серії експериментальних даних. Мінімум похибки на цих точках може слугувати визначальним моментом того, що отримана модель є модель оптимальної складності.

Процес вирішення задачі структурної ідентифікації можливо надати у вигляді системи взаємопов'язаних ланцюгів [8,10]:

- 1) постановка задачі і аналіз апріорної інформації;
- 2) проведення експерименту в режимі нормального функціонування об'єкта або у відповідності з деяким планом із множини планів $\chi = \{x_1, x_2, \dots\}$;
- 3) аналіз і попередня обробка результатів експерименту;
- 4) вибір множини можливих аргументів (опорних функцій);
- 5) розробка або вибір генератора складності моделі;
- 6) вибір способу розбивки таблиці експериментальних даних на навчаючу (А), перевірочну (В) та екзаменаційну (С) вибірки із множини $R = \{r_1, r_2, \dots\}$;
- 7) самоорганізація моделі, яка задовольняє критеріям оптимальності $Q = \{q_1, q_2, \dots\}$;
- 8) аналіз та довизначення моделі;
- 9) практичне використання моделі.

Наведена схема є достатньо загальною і може бути використана для структурної ідентифікації об'єктів будь-якої природи. На практиці ж задачу

доводиться членувати.

Перш за все фіксується клас можливих моделей F (дискретні поліноми, диференціальні рівняння та ін.). З врахуванням цього формується матриця X , яка забезпечує можливість об'єктивного порівняння моделей $F \in F$ за критеріями Q за декількома варіантами розбивки на A, B, C послідовності [10].

Практично, як правило, не вдається достатньо повністю вирішити задачі, які поставлені перед конкретними ланцюгами задачі структурної ідентифікації. Це призводить до того, що на виході етапу 7 маємо не одну, а декілька однакових (рівноцінних) моделей, що потребує введення етапу довизначення оптимальної моделі. Необхідність етапу довизначення витікає ще із того, що задача структурної ідентифікації є багатокритеріальною і, таким чином, не може мати однозначного, теоретично обґрунтованого методу практичного вирішення будь-якої задачі.

Тому довизначення є не що інше, як вибір найбільш раціонального рішення (моделі) на базі додаткових зовнішніх критеріїв або експериментальної оцінки моделей.

Таким чином, метод групового врахування аргументів базується на деяких принципах теорії навчання та самоорганізації, а саме: на принципах "селекції", або спрямованого відбору.

В цілому метод вирішує задачу шумостійкого об'єктивного вибору моделі оптимальної складності за допомогою перебору варіантів по заданому ансамблю (або ієрархії) зовнішніх критеріїв [10].

Висновки. У результаті запропоновано методологію, яка, базуючись на застосуванні сучасних комп'ютерних технологій, має всі шанси на використання з метою вирішення інноваційних пропозицій, що стосуються подальших досліджень з розробки спеціального комплексного складу компонентів для просочування та застосування цього комплексу в процесі

розробки та створення серії сучасних екологічно безпечних композиційних матеріалів на основі целюлозних матеріалів, а саме: паперу та картону.

Література

1. Кривошей В.М. Упаковка в нашому житті. К.: ІАЦ "Упаковка". 2001. 160 с.
2. Примаков С.П., Барбаш В.А. Технологія паперу та картону. К.: ЕКМО, 2008. 425 с.
3. Коптюх Л.А. Расширение сырьевой базы производства волокнистых полуфабрикатов для изготовления бумаги и картона. // Бумага и жизнь. 2006. № 7. С.24-27.
4. Трухтенкова Н.Е., Килипенко А.В. и др. Технология упаковочной бумаги. М.: "Лесная промышленность". 1974. 288 с.
5. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наукова думка. 1982. 296 с.
6. Рибальченко В.В., Коптюх Л.А., Плосконос В.Г., Осика В.А. Підвищення жиронепроникності пакувального паперу // Упаковка 2007. № 2. С. 23-26.
7. Ивахненко А.Г. Кибернетика – наука о моделировании связи и управления в сложных системах // Автоматика. 1982. №1. С. 3-15.
8. Кикоть В.С. Разработка и исследование комбинированных методов идентификации проектируемых объектов на основе принципа самоорганизации: Автореф. дис. канд. техн. наук. Киев: 1984. 22 с.
9. Плосконос В. Г Використання комп'ютерних технологій в розробці планів експериментальних досліджень складних технологічних систем виробництва паперу та картону // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2018. № 21(61). Т. 3. С. 50-54. DOI: 10.25313/2520-2057-2018-21-4428

10. Кикоть В.С., Плосконос В.Г. Идентификация характеристик сложных проектируемых систем с использованием принципов самоорганизации и топологического метода анализа //Автоматика. 1986. №3. С. 34-42.