УДК 676:628.1.03

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 ТОПОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ АСПЕКТІВ СКЛАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ АСПЕКТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

USING OF THE TOPOLOGICAL METHOD FOR THE REFLECTION OF STRUCTURAL ASPECTS OF COMPLEX TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Анотація. *Розроблено структурні аспекти взаємодії елементів складних систем з використанням основних положень теорії графів та топологічного методу аналізу з метою моделювання проблем, що виникають у водопотоках виробництва паперу та картону.*

Ключові слова: *складна система, елемент системи, система водокористування, структурна модель системи, теорія графів, топологічний метод аналізу*

Аннотация. *Разработаны структурные аспекты взаимодействия элементов сложных систем с использованием основных положений теории графов и топологического метода анализа с целью моделирования проблем, возникающих в водопотоках производства бумаги и картона.*

Ключевые слова: *сложная система, элемент системы, система водопользования, структурная модель системы, теория графов, топологический метод анализа.*

Summary. *The structural aspects of complex systems elements interaction with using the base theses of graph theory and topological analysis method with the aim of problems modeling which are appearing in the water streams of paper and paperboard production.*

Key words: *complex system, system element, system of water consumption, structural system model, graph theory, topological analysis method.*

Процес виробництва картонно-паперової продукції — це складна сукупність різних операцій, які відбуваються на окремих агрегатах (апаратах) технологічної системи. Функціонування кожної одиниці обладнання, яке входить до складу складної технологічної системи, залежить не тільки від комплексу своїх параметрів, а також від стану всієї системи в цілому, Враховуючи це, розроблено методологію дослідження динаміки функціонування складних систем [1], серед невирішених аспектів якої залишається створення та практичне використання структурної моделі взаємодії елементів цієї складної технологічної системи.

Як відомо, елементи складної системи взаємодіють між собою завдяки зв'язкам, які установилися між ними, і це забезпечує їхнє узгоджене функціонування. З метою побудови структурної моделі системи в цілому та відбиття аспектів взаємодії елементів складної технологічної системи практика рекомендує скористатися теорією графів та топологічним методом аналізу складних систем, який базується на використанні математичних іконографічних (топологічних) моделей систем [2, 3].

З практичної точки зору, побудова структурної моделі дає можливість кожному вхідному сигналу від елемента зовнішнього середовища або виникаючому як вихідний сигнал елемента технологічної системи вказати шлях (адресу), за яким цей сигнал повинен надійти в якості вхідного на елемент технологічної системи або зовнішнього середовища. Разом з тим, враховуючи, що зовнішнє середовище накладає свої «відбитки» на характер функціонування складної технологічної системи, необхідно також розглядати взаємодію системи картонно-паперового виробництва із зовнішнім середовищем.

Метою даної статті є розроблення підходів до побудови структурної моделі, в результаті чого технологічна система може бути подана у вигляді матеріального орієнтованого спрямованого потокового графа:

$$G = G(U) = (U, E) \qquad (1)$$

що складається із множини $U = \{u_i\}, (i = \overline{1, W_j})$ вершин та множини $E = \{e_j\}, (j = \overline{1, D_G})$ дуг.

Технологічна система виробництва, як правило, взаємодіє із зовнішнім середовищем, тоді всю множину вершин графа можна розділити на три непересічні множини:

U_1 — джерел системи, U_2 — стоків системи та U* — проміжних вершин (елементів) технологічної системи, тобто:

$$U^* = U \setminus U_1 \cup U_2; U^* = \{i_1 : i_1 \in U / i_1 \notin U_1, i_1 \notin U_2\} \quad (2)$$

Тут елементи множин U_1 і U_2 відносяться до елементів зовнішнього середовища.

Даний спосіб є найбільш наглядною формою подання відносин між елементами складної системи. Разом з тим, його неможливо застосувати в такому вигляді, якщо у вирішенні задач структурного аналізу використовують комп'ютерну техніку.

Разом з тим, інформацію, що характеризує матеріальний орієнтований спрямований потоковий граф, можливо подати в алгебраїчному вигляді за допомогою матриці і, таким чином, перевести структурні особливості технологічної системи на мову чисел.

Для цього необхідно задати числову функцію на вершинах графа. Функція вважається заданою, якщо кожній *i*-ой вершині u_1 графа $G(U)$ $u_1 \in U$ (ставиться у відповідність деяке число $l_1 = l(u_1)$ з множини L. Тоді кожна дуга графа $G(U)$ (1) може бути подана у вигляді i, i_1, тобто парою чисел, перше з яких вказує на номер вершини, з якої дуга виходить, а друге — на номер вершини, в яку дуга поступає.

Такий підхід дозволяє всю технологічну систему подати у вигляді матриці інцеденцій [S] порядку [U^*E] з елементами за умови:

$$S_{ij} = \begin{cases} -1, & \text{якщо дуга } e_j \text{ виходить із вершини } u_i \\ +1, & \text{якщо дуга } e_j \text{ впадає у вершину } u_i \\ 0, & \text{якщо дуга } e_j \text{ неінцедентна вершині } u_i \end{cases}$$

Для багатьох практичних завдань, пов'язаних з аналізом складних технологічних систем, зважаючи, що більшість елементів у матриці [S] виявляються нульовими, доцільно використовувати множинні способи формалізації структури. Для орієнтованого графа $G(U)$ задається множина вершин $U=\{u_i\}$, ($i=1$, W_j) і відповідність G, що свідчить про зв'язок між собою вершин. Для кожної вершини u_i відповідність G визначає множину вершин $G(u_i)$, в які можливо безпосередньо потрапити з вершини u_i.

Таким чином, орієнтований граф задається перерахуванням (списком) множини $G(u_i)$ для всіх вершин графа. При цьому дуги встановлюють зв'язок між елементами технологічної системи.

Разом з тим, центральне місце в технологічній системі, що подається у вигляді матеріального орієнтованого спрямованого потокового графа (1), мають займати моделі вершин графа, наявність яких дозволить з використанням засобів комп'ютерної техніки виконувати обчислювальний експеримент з метою визначення стану складної системи у будь-який проміжок часу.

У відповідності з виразом (2), частина вершин графа (1) відноситься до елементів зовнішнього середовища, а інші — складають множину елементів технологічної системи.

Елементи зовнішнього середовища необхідно розглядати лише в тій частині, яка стосується їх впливу на елементи технологічної системи, а саме: водорозчинних забруднюючих речовин, що надходять з волокнистими напівфабрикатами, допоміжними хімічними речовинами та свіжою водою.

Елементи, що входять до складу самої технологічної системи, характеризуються багатофункціональністю. Виходячи з самої мети функціонування технологічної системи, досліджувати їх необхідно з точки зору впливу на кількість водорозчинних забруднюючих речовин, які потрапили до водопотоків картонно-паперового виробництва із волокнистими напівфабрикатами, допоміжними хімічними речовина та свіжою водою.

В процесі імітаційного моделювання, яке дозволить, у перспективі, розрахувати стан водопотоків технологічної системи, використовуючи комп'ютерну техніку, доцільно подавати моделі елементів системи у вигляді двох складових: статики і динаміки.

З точки зору статичних характеристик елементи технологічної системи можливо поділити на два класи.

До першого із них можливо віднести елементи, у яких водопотоки знаходяться в безпосередньому контакті з волокнистою суспензією.

Так, характеристики стану зворотніх потоків води, які надходять до елементу першого класу, за розчинними мінеральними речовинами можливо визначити, використовуючи залежність:

$$C_i^{вх.неорг.} = \sum_{j=1}^{l_i} P_{ji} \cdot C_{ji} \setminus \sum_{j=1}^{l_i} P_{ji} \qquad (3)$$

де l_i — кількість водопотоків, які надходять в I-ий блок (вузол);

P_{ji} — водопотік за j-ою дугою, що надходить до I-го блоку;

C_{li} — концентрація водорозчинної мінеральної речовини у P_{ji} — водопотоці.

Характеристики стану зворотних потоків води, які надходять до елементу першого класу, за розчинними органічними речовинами можливо визначати з використанням математичних моделей статики, які необхідно, в перспективі, розробляти з врахуванням складної залежності процесу переходу в розчинний стан органічних речовин від багатьох технологічних факторів. Цьому питанню в подальших дослідженнях буде приділено особливу увагу.

Елементи технологічної системи, через які проходять потоки води, що містять незначні домішки твердих часток (маси), відносяться до другого класу.

Показники стану воду в цих елементах або усереднюються за всіма вхідними потоками (наприклад, басейни зворотної води), або змінюються за певними залежностями (наприклад, механо-хімічна або біологічна очистка стічних вод).

Для елементів другого класу (таких як механо-хімічна та біологічна очистка стічних вод) визначення стану стічних вод за показником розчинені органічні речовини, а також $БСК_5$ і ХСК доцільно проводити з використанням коефіцієнтів ефективності очищення стічних вод. Коефіцієнти можуть бути розроблені з використанням статистичних даних ефективності очищення води на підприємствах, що переробляють макулатуру.

Разом з тим, динамічна складова моделей елементів технологічної системи повинна давати уявлення про структуру потоків (водопотоків) в апаратах системи картонно-паперового виробництва.

Характеристики стану зворотних і стічних вод за показником розчинених забруднюючих речовин, розраховані за моделями статики, піддаються змінам в залежності від структури потоку в даному вузлі технологічної системи.

З погляду динаміки елементи технологічної системи необхідно розділити на чотири групи.

До першої групи слід віднести елементи, у яких маса перебуває в контакті з водою (крім басейнів для зберігання маси). Характерною рисою елементів першої групи є те, що вони мають невеликі ємності і тому потік з масою в них практично не затримується.

Перемішуючись, маса зі швидкістю, обумовленою швидкістю відливу паперового (картонного) полотна на сітці паперо- картоноробної машини, рухається від початкових вузлів підготовки маси до напірного ящика.

Елементам першої групи можна поставити у відповідність модель ідеального змішування, згідно з якою відбувається рівномірний розподіл розчинених речовин в масі води (потоці).

Залежність між концентрацією і-го компонента розчинених забруднюючих речовин на вході вузла $C_i^{вх.}$ і виході з нього $C_i^{вих}$ має вигляд:

$$dC_i \setminus d\tau = (C_i^{вх.} - C_i^{вих.}) \cdot V_c \setminus V \qquad (4)$$

де V_c — об'ємна швидкість потоку маси (води);

V — об'єм ємності досліджуваного елемента.

Для елементів першої групи величина відношення V_c/V практично дорівнює одиниці, а концентрація розраховується за моделями статики елементів першого класу.

Басейни для акумулювання розмеленої маси відділу підготовки маси з позиції подання їх в якості елементів технологічної системи, відносяться до другої групи.

Для них характерне транспортне запізнювання по відношенню до порції маси, що надходить до басейну та наявність інтенсивного перемішування маси по всьому об'єму басейна.

У результаті, відбувається деяке вирівнювання концентрації розмеленої маси і, як наслідок, вирівнювання концентрації розчинених забруднюючих речовин.

Залежність між концентрацією і-го компонента розчинених забруднюючих речовин на вході басейну $C_i^{вх}$ та виході з нього $C_i^{вих}$ описується рівнянням (4).

Величина співвідношення V_c/V для елементів другої групи значно більше одиниці. Це співвідношення для сучасних картонно-паперових підприємств вибирається з таким розрахунком, щоб забезпечити не менш як двогодинний запас маси у басейні. Разом з тим, масова концентрація $C_i^{вх}$ визначається за рівняннями статики для елементів першого класу.

Басейни зворотної води відносяться до елементів третьої групи. Для них характерно наявність незначної транспортної затримки порції, оборотної води, що надходить, та вирівнювання концентрації розчинених забруднюючих речовин у межах порції.

Для елементів третьої групи можливо застосувати рівняння (4). Відмінною рисою цих елементів, у порівнянні з елементами першої групи, є відсутність контакту з масою. У зв'язку із цим концентрація кожної порції води, що надходить до басейну, визначається на стадії, коли ця порція води утворилася.

Значення $C_i^{вх}$ розраховується за моделлю статики для елементів другого класу. Величина відношення V_c/V незначно більше одиниці.

До четвертої групи відносяться ємності картонно-паперового виробництва, призначені для очищен-

ня стічних вод (споруди механо-хімічної і біологічної очистки).

На цих спорудах у результаті застосування хімічних реагентів або життєдіяльності бактерій відбуваються зміни якісних показників води, що очищається (зменшується концентрація розчинених органічних речовин). Разом з тим, у випадку застосування хімічних добавок можливе підвищення концентрації розчинених мінеральних речовин.

Характерним є тривалий проміжок часи між надходженням води на очищення і поверненням її у виробничий процес (якщо повернення передбачене технологічним регламентом).

Так, якщо для механо-хімічних очисних споруд цей проміжок становить у середньому 3–4 год, то для споруд біологічного очищення проміжок часу може досягати декількох діб.

Динаміка водопотоків в елементах четвертої групи досить складна. На стадії надходження води на очисні споруди вона інтенсивно перемішується і її динаміку можна описати за допомогою рівняння (4). Значення C_i^{ex} в цьому випадку можливо розрахувати з використанням рівняння статики для елементів другого класу.

Надалі рух потоків води набуває спокійного характеру. На цій стадії для опису структури потоків може бути використане рівняння моделі ідеального витіснення:

$$\partial C_i \setminus \partial \tau = -\omega \cdot \partial C_i \setminus \partial X \qquad (5)$$

де ω — лінійна швидкість потоку води, що очищається;

X — координата, уздовж якої рухається потік води, який піддається очищенню.

Згідно з рівнянням (5) потік води, що очищається, приймає поршневий плин без перемішування уздовж потоку за рівномірного розподілу розчинених забруднюючих речовин у напрямку, перпендикулярному руху.

Час перебування всіх часток в елементах четвертої групи однаковий і дорівнює відношенню об'єму ємності до об'єму води, що очищається.

Висновки. З метою побудови структурної моделі складної технологічної системи та відбиття аспектів взаємодії елементів такої системи використано основні положення теорії графів та топологічного методу аналізу складних систем, який базується на використанні математичних іконографічних (топологічних) моделей.

Разом з тим, щоб розкрити динаміку всієї технологічної системи можливо із застосування сучасних засобів комп'ютерної техніки, потрібно розглянути математичні моделі кожного із елементів системи у їхньому взаємозв'язку з використанням топологічного методу аналізу.

Виходячи з цього, перспективи подальших наукових досліджень пов'язані з аналізом проблем систем з мінімальним споживанням свіжої води на технологічні потреби та плануванням експерименту і розробкою моделей стосовно органічних забруднюючих речовин.

Література

1. Плосконос В. Г. Аналіз стану систем картонно-паперового виробництва з мінімальним споживанням свіжої води / Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». — 2017. — № 15.

2. Ивахненко А. Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами — К.:, «Техника», 1976. — 311 с.

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