

9. Shatalov, V.V., Seregin, M.B., Harin, V.F. and Ponomarev, L.A. (2001), "Gas-fluoride reprocessing of spent oxide fuel", *Atomnaja jenergija*, vol. 90, no 3, pp. 212–222.
10. Kancedal, V.P., Kapustin, V.L. and Karnauhov, I.M. (1999), "Fluoride gas recycling and mineralization of radioactive waste – the new eco-friendly technologies from the National Science Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology", *Atomna enerhetyka ta promyslovist Ukrainy*, no 2, pp. 17–23.
11. "Control of content of harmful substances in the air of the working area. Guidelines". *Metodicheskie ukazanija* (September 26, 1985, no 3936–85).
12. Efimova, M.R. (2002), *Statistika* [Statistics], INFRA-M, Moscow, Russia.
13. SP 4696-88. *Maximum allowable concentration of harmful substances in the air of the working area*, 1988.

УДК 676:628.1.03

ПЛОСКОНОС В. Г., к.т.н., доц.

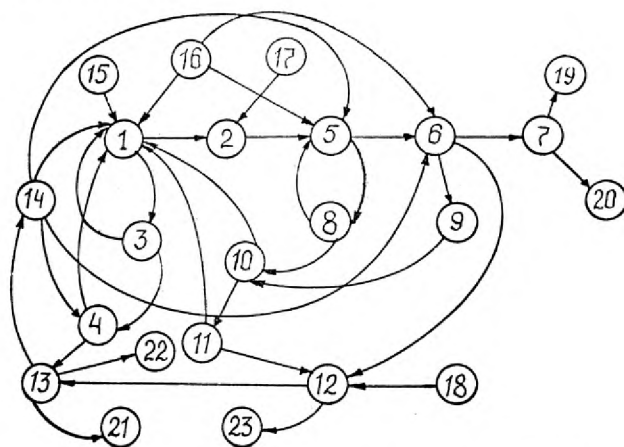
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ Й КАРТОНУ

Розроблено основні аспекти методології дослідження динаміки функціонування складних систем, а саме системного підходу до вирішення проблем, що виникають у системах водокористування виробництва паперу й картону. Процедура імітаційного моделювання за допомогою комп'ютера відтворює динаміку процесів, що відбуваються в досліджуваній системі, з використанням наявних математичних описів і структурних особливостей системи.

Ключові слова: складна система, система водокористування, ефект емерджентності, процедури системного аналізу, імітаційне моделювання, динаміка процесів.

© Плосконос В. Г., 2016.



- 1 – розмелювально-підготовчий відділ; 2 – масний басейн; 3 – басейн оборотної води; 4 – вакуум-фільтр; 5 – реєстрова частина КРМ; 6 – пресова частина КРМ; 7 – сушильна частина КРМ; 8 – басейн реєстрових вод; 9 – басейн пресових вод; 10 – басейн надлишкових вод; 11 – уловлювання волокна; 12 – механо-хімічне очищення; 13 – біологічне очищення; 14 – басейн води повторного використання; 15 – вихідні волокнисті напівфабрикати; 16 – свіжа вода; 17, 18 – допоміжні хімічні речовини; 19 – пара; 20 – склад готової продукції; 21 – стоки; 22, 23 – осади

Рис. 1 – Узагальнена технологічна схема виробництва картону

Постановка проблеми. Аналіз технологічних систем виробництва паперу й картону свідчить: вони є системами з розгалуженими водопотоками між технологічним обладнанням та очисними спорудами. За всіма ознаками їх можна віднести до складних систем (рис. 1). Тому їхній аналіз потребує особливого підходу, особливо під час реконструкції технологічної системи чи проектування нової. Стан технологічної системи такого типу в заданий інтервал часу визначається динамікою потоків і множиною показників, що характеризують стан її окремих елементів, їхніх входів і виходів.

Крім розгалуженості потоків, такі системи характеризуються значними обсягами використовуваної води, як свіжої, так і оборотної. Частина води повторного використання після очищення скидають у природні водойми (див. рис. 1), тому з точки зору охорони

навколишнього середовища прогнозування її якісних показників також є актуальним.

Аналіз попередніх досліджень. Упровадження маловідходних технологічних процесів дозволяє повніше й комплексно використовувати природні, сировинні, матеріальні та енергетичні ресурси, виключає або суттєво зменшує шкідливий вплив виробництва на навколишнє середовище.

Важливим аспектом маловідходних процесів є інтенсифікація використання оборотних вод і значне скорочення споживання свіжої води у виробничому циклі. Завдяки цьому стан води, що повертається у виробничий процес, впливає на якість продукції й роботу обладнання і навпаки. Як відреагує складна технологічна система на зміну умов використання води – питання, що потребує детального аналізу та вивчення.

Загальною науковою проблемою є невизначеність впливу змін у переліку агрегатів та обладнання, а також у структурі водопотоків технологічної системи після її реконструкції, або коли під час проектування технологічної системи пропонуються нові ідеї. Вимагається глибоке розуміння наслідків впливу динамічних закономірностей (кількісних та якісних), властивих розглянутим системам, оскільки метою проектувальників є спрямування функціонування цих систем на випуск якісної продукції.

Спроби ж відтворити на одному з підприємств галузі технологічні умови підприємства, що проектується, не можуть дати бажаних результатів, оскільки кожне підприємство є складним об'єктом, що характеризується оригінальною множиною вузлів та апаратів, що функціонують у певному режимі, а також структурою їхнього взаємозв'язку. Інтенсифікація використання оборотних вод у виробничому процесі настільки збільшує взаємовплив вузлів (апаратів), що неможливо наперед знати, як відобразяться зміни в структурі системи чи режимах роботи апаратів (навіть одного з них) на функціонуванні інших вузлів (апаратів) і на стані водопотоків системи.

Невирішеною частиною наукової проблеми є відсутність науково-обґрунтованої методології прогнозування стану складних систем на стадії їхньої реконструкції чи проектування.

Метою статті є розроблення методології дослідження динаміки функціонування складних систем, а саме системного підходу до вирішення проблем, що виникають у системах водокористування виробництва паперу й картону.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення зазначеної мети та базуючись на класичних визначеннях, варто встановити таке. По-перше, система – це предмет, явище чи процес, які складаються з якісно визначеної сукупності елементів, що перебувають у взаємних зв'язках і відносинах (див. рис. 1), утворюють єдине ціле в своєму функціонуванні [1, 2] і спроможні до взаємодії із зовнішнім середовищем. По-друге, елемент такої системи – це об'єкт, який не можна поділити на окремі частини в системі, що розглядається. На схемах елементи систем подають, зазвичай, у вигляді прямокутників (кіл), а їхні входи й виходи – стрілок (дуг) (див. рис. 1). Кожний елемент системи може мати один чи декілька входів, один чи декілька виходів. По-третє, елементи системи взаємодіють між собою завдяки зв'язкам між ними, що забезпечує їхнє узгоджене функціонування. Зв'язки між елементами системи поділяють на вхідні («вхід») і вихідні («вихід»). Систему створюють, встановлюючи зв'язки між її елементами шляхом об'єднання входів одних елементів із виходами інших. Так, наприклад, якщо розглянути виробництво паперу й картону як систему, то на її входи надходять напівфабрикати, допоміжні хімічні речовини, свіжа вода, а виходами є готова продукція й відходи виробництва.

Виходячи з викладеного вище, технологічна система є єдиним цілим, наділеним сутнісними рисами цілісності (фіксує об'єктивну форму існування системного явища й наявність взаємозв'язків між його елементами) та інтегративності (об'єднує частини в єдине ціле, спроможне забезпечити життєдіяльність системи). Разом із цим, існують й інші сутнісні властивості, зокрема емерджентність [1, 2] – системний ефект чи явище набуття системою нових рис, якостей, властивостей, не притаманних жодному з об'єктів, що її утворюють. Саме емерджентність виникає, зокрема, внаслідок інтенсифікації використання оборотних вод. Врахувати її можна, використавши імітаційне моделювання процесів, що відбуваються в системі.

Розробляючи методологію системного аналізу складних систем, акцентують увагу на трьох етапах вирішення будь-якої системної задачі. На першому із них будують модель досліджуваної системи (одержують формалізований опис об'єкта), на другому – формулюють критерії вирішення задачі (ставлять задачу), на третьому – вирішують її.

Попри позірну легкість цієї укрупненої схеми, системний аналіз є складною процедурою, методологія й головні принципи якого не можуть бути універсальними – кожна система має свої особливості й вимагає від виконавця інтуїції, ініціативи та уяви, щоб правильно визначити мету дослідження і досягти її.

Разом із цим, відомі загальні процедури системного аналізу, що відображають його головні закономірності. Їх реалізують у такій послідовності: вивчення (розроблення) структури системи; аналіз її елементів та виявлення взаємозв'язків між ними; збирання даних про функціонування системи; дослідження інформа-

ційних потоків системи; побудова моделей елементів системи; визначення цілей системного аналізу; імітаційне моделювання; перевірка адекватності моделей; формування критеріїв; прийняття рішень; упровадження результатів аналізу.

Вивчаючи структуру системи (або створюючи її для нового об'єкта), варто враховувати, що процес виробництва паперу й картону – це складна сукупність операцій, що відбуваються в окремих агрегатах (апаратах) або їх комплексному поєднанні. І нормальне функціонування кожної одиниці обладнання, що складає систему, залежить не лише від комплексу параметрів цієї одиниці, але й від стану системи в цілому.

Щоб побудувати структурну модель складної системи й відобразити в ній усі аспекти взаємодії її елементів, застосовують теорію графів і топологічний аналіз складних систем, що базується на використанні математичних іконографічних (топологічних) моделей [5].

Попередні дослідження [4, 5] свідчать, що за мінімального споживання свіжої води в технологічному процесі в оборотній воді після багаторазового контакту з волокнистими напівфабрикатами й хімічними добавками накопичуються водорозчинні мінеральні та органічні компоненти, присутність яких може негативно вплинути на якість продукції. Джерелом забруднення технологічної системи, насамперед, є волокнисті напівфабрикати й хімічні сполуки, що використовують під час виготовлення готової продукції та очищення води.

Оскільки виробництво картонної й паперової продукції є складною системою, вирішувати завдання побудови моделей її елементів варто з використанням декомпозиції [7], тобто поділу складної системи виробництва на прості складові (блоки) – певні види обладнання, вузли чи агрегати.

Після визначення цілей системного аналізу здійснюють імітаційне моделювання ситуацій, які ймовірно можуть виникнути під час виробництва. Моделювальний комплекс за допомогою комп'ютера відтворює динаміку процесів, що відбуваються в системі, використовуючи введені математичні описи й структурні особливості системи.

Важливим аспектом методології системного аналізу є підтвердження того, що створені математичні моделі з високою ймовірністю відтворюють динаміку й рівноважний стан процесу. Тому обов'язковим є перевірка адекватності на діючих системах.

Ідеї, закладені під час розроблення методології аналізу складних систем, можна використати як для процедур визначення стану системи як в динамічному, так і статичному режимі, наприклад, для розрахунку матеріального балансу води й волокна за статичної рівноваги.

Висновки. Використання запропонованої методології надасть можливість проаналізувати динаміку зміни рівня забруднення водопотоків технологічної системи виробництва паперу й картону водорозчинними мінеральними та органічними компонентами залежно від обсягів спожитої свіжої води. Альтернативою може стати розрахунок необхідної й достатньої кількості свіжої води, за якої забрудненість водопотоків не буде суттєво впливати на якість готової продукції й роботу очисних споруд.

У подальшому передбачається «перекласти» структурні особливості складних систем мовою чисел і розробити математичні моделі елементів системи виробництва паперу й картону. Цікавою виглядає також перспектива використання запропонованої методології для аналізу комплексних процесів, що відбуваються під час варіння целюлози.

Список використаної літератури

1. *Корбутяк В. І.* Методологія системного підходу та наукових досліджень / В. І. Корбутяк. – Рівне : НУВГП, 2010. – 176 с.
2. *Волкова В. Н.* Основы теории систем и системного анализа / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – СПб : СПбГТУ, 2001. – 512 с.
3. *Основы моделирования сложных систем* / под ред. И. В. Кузьмина. – К. : Вища шк., 1981. – 358 с.
4. *Анализ загрязненности сточных вод растворенными компонентами с помощью математической модели* / В. Г. Плосконос, Г. А. Арестова, Л. Н. Бойко, Л. А. Герасимчук // Проблемы в области охраны окружающей среды : сб. научн. тр. ; УкрНПОбумпром. – К., 1982. – С. 36–42.
5. *Плосконос В. Г.* Использование ЭВМ при разработке малоотходных и безотходных систем водопользования / В. Г. Плосконос, С. Т. Литвинова, В. П. Свительский // Всесоюзная науч.-техн. конф. по малоотходным технологиям и ресурсосбер. технике в лесном комплексе ; Архангельск, 24-26 сент. 1985 г.: тез. докл. – М. : ВНИИПИЭИлеспром, 1985. – С. 36–38.
6. *Ивахненко А. Г.* Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А. Г. Ивахненко. – К. : Техника, 1976. – 311 с.

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

Надійшла до редакції 26.09.2015

Ploskonos V. H.

THE RESEARCH METHODOLOGY OF THE FUNCTIONING OF COMPLEX SYSTEMS OF PRODUCTION OF PAPER AND PAPERBOARD

During the work implementation the basic research methodology aspects of functioning dynamics of the complex systems are worked out, namely: the system approach to the decision of problems arising up in the water consumption systems of paper and cardboard production.

It is established that the technological systems are characterized by the ramified streams of considerable water volumes in the productive loop, both fresh and especially water that is used repeatedly in the production process. The state of such technological system during the set time is determined both by the streams dynamics and by a number of different indexes, which characterize the state of its separate elements, their entrances and exits.

If there is a question of alteration making in the list of aggregates and equipment or in the structure of water streams of the technological system during its reconstruction, or new ideas are offered during planning of the technological system, then the specialists are required to have a deep understanding of influence consequences of dynamic conformities with a law (quantitative and qualitative), inherent in the examined systems, because the aim is always one – to point the investigated system functioning to production of qualitative products.

Therefore the decision of such enough complicated questions is expedient, both on the reconstruction stage of the object and its planning, being based on scientifically-reasonable methodology of the state prognostication of such complex systems.

The development of the system approach methodology to the technological systems analysis of paper and cardboard production supposes to accent the main attention on three stages which are a basis for the solution of any task by the system researches realization: model construction of the investigated system, criteria forming and task decision.

The practical use of the offered methodology taking into account the put aim gives an opportunity to analyze the change dynamics of water streams muddiness levels of the technological production system by water-soluble mineral and organic components.

During the methodology development the researchers had the tasks to transform the complex systems structural features into numbers language and to develop the different mathematical models of the technological systems elements of paper and cardboard production depending on the aim of researches.

Keywords: complex system, system element, system of water consumption, emergency effect, procedures of the systems analysis, mathematical model, imitation modelling, processes dynamics.

References

1. Korbutiak, V.I. (2010), *Metodologiya systemnogo pidhodu ta naukovykh doslidzen'* [Methodology of system approach and scientific research], NUVHP, Rivne, Ukraine.
2. Volkova, V.N. and Denisov, A.A. (2001), *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza* [Fundamentals of the theory of systems and system analysis], SPbGTU, Sankt-Peterburg, Russia.
3. Kuz'min, I.V. (1981), *Osnovy modelirovaniya slozhnykh sistem* [Fundamentals of simulation of complex systems], Vyshcha shkola, Kiev, USSR.
4. Ploskonos, V.G., Arestova, G.A., Bojko, L.N. and Gerasimchuk, L.A. (1982), "Analysis of dissolved components in wastewater by using a mathematical model", *Problemy v oblasti ohrany okruzhayushey sredy*, p. 36–42.
5. Ploskonos, V.G., Litvinova, S.T. and Svitel'skij, V.P. (1985), "The use of computers in the development of low-waste and non-waste water systems", *Vses. n.-tehn. konf. po malootehnologii i resursosber. tekhnike v lesnom komplekse*, p. 36–38.
6. Ivahnenko, A.G. (1976). *Dolgosrochnoe prognozirovanie i upravlenie slozhnyimi sistemami* [Long-term forecasting and control of complex systems], Tekhnika, Kiev, USSR.
7. Kikot', V.S. and Ploskonos, V.G. (1986), "Identification characteristics of complex proektiruemyi systems using self-organization and topological method of analysis", *Avtomatika*, no 3, p. 34–42.