

УДК 676:628.1.03

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ДИНАМІКИ І РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОПОТОКІВ В ПРОЦЕСАХ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ

Одне із питань, яке виникає на стадії проектування технологічної системи виробництва паперу та картону або під час реконструкції діючого виробництва - це вплив ємностей картонно-паперового виробництва на динаміку і рівень забрудненості водопотоків. Елементи технологічної системи [1], а саме: басейни для акумулювання маси, баки оборотної води, ємності, призначені для очищення стічних вод мають певний запас води, і тому важливе значення має вивчення впливу цих ємностей на динаміку і рівень забруднення водопотоків водорозчинними компонентами мінерального і органічного характеру.

Ключові слова: виробництво паперу та картону, ємності картонно-паперового виробництва, динаміка і рівень забрудненості водопотоків.

DOI: 10.20535/2617-9741.3.2021.241063

© Плосконос В. Г., Гондовська А. С., 2021.

Постановка задачі

В процесах виробництва картонно-паперової продукції в якості волокнистих напівфабрикатів використовується переважно макулатура, що дає можливість дещо скоротити обсяги споживання первинної волокнистої сировини, а саме: целюлози. Разом з тим, макулатура несе в собі ряд забруднюючих воду компонентів мінерального та органічного характеру, які були привнесені до композиції ще на стадії виробництва продукції, що стала потім макулатурною сировиною. Одним із питань, які можуть виникнути на стадії розроблення проектів технологічних систем виробництва заданого виду паперу чи картону або під час реконструкції діючого виробництва з метою зменшення втрат волокнистих напівфабрикатів та оптимального їх використання або скорочення обсягів споживання свіжої води - є розрахунок рівня забрудненості, а також визначення впливу ємностей картонно-паперового виробництва та очисних споруд на динаміку і рівень забрудненості водопотоків.

Аналіз попередніх досліджень

Дослідження функціонування процесів виробництва паперу та картону за використання в якості вихідної сировини макулатури, переконливо показує, що вони відносяться до класу складних технологічних систем [1-3]. Для аналізу таких систем розроблено методологію, яка за використання комп'ютерних технологій [4-6] дає можливість оцінити стан технологічної системи до моменту її впровадження у дію.

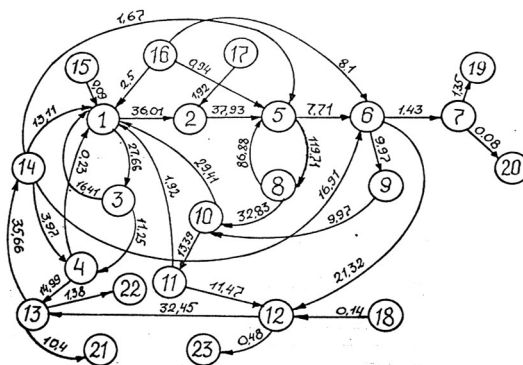
Невирішеною частиною проблеми з практичної точки зору є дослідження та пошук методів, які дозволять проектувальнику віднайти вирішення питань, які можуть виникнути на стадії проектування технологічної системи виробництва заданого виду паперу чи картону або під час реконструкції діючого виробництва. Ці проблеми пов'язані з розрахунком рівня забрудненості, а також визначенням впливу ємностей картонно-паперового виробництва та очисних споруд на динаміку і рівень їх забрудненості водопотоків.

Метою даної статті є проведення досліджень і прогнозних розрахунків на базі математичних моделей для визначення закономірностей впливу ємностей на динаміку і рівень забрудненості водопотоків в процесах виробництва паперу та картону.

Виклад основного матеріалу

З метою дослідження та проведення прогнозних розрахунків у якості об'єкта запропоновано узагальнену технологічну систему виробництва картону (рис.1) [1], яку подано у вигляді матеріального потокового графа [2]. Водорозчинні забруднюючі компоненти мінерального та органічного характеру надходять в систему виробництва разом з волокнистою сировиною (елемент 15), частково зі свіжою водою (елемент 16), хімічними добавками, що використовуються для надання певних якостей продукції на стадії її виробництва (елемент 17) і на стадії механо- хімічного очищення зворотної води (елемент 18).

Величини водопотоків технологічної системи розраховано на персональному комп'ютері за використання програмного забезпечення (значення водопотоків наведені над кожною з дуг на рис. 1).



1 – розмелювально- підготовчий відділ; 2 – масний басейн; 3 – басейн зворотньої 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-хімічна очистка; 13 – біологічна очистка; 14 – басейн води повторного використання; 15 – вихідні волокнисті напівфабрикати; 16 – свіжа вода; 17, 18 – допоміжні хімічні компоненти; 19 – пара; 20 – склад готової продукції; 21 – стоки; 22, 23 - осадок.

Рис. 1 – Узагальнена технологічна система виробництва картону (з позначенням балансу водопотоків, м³)

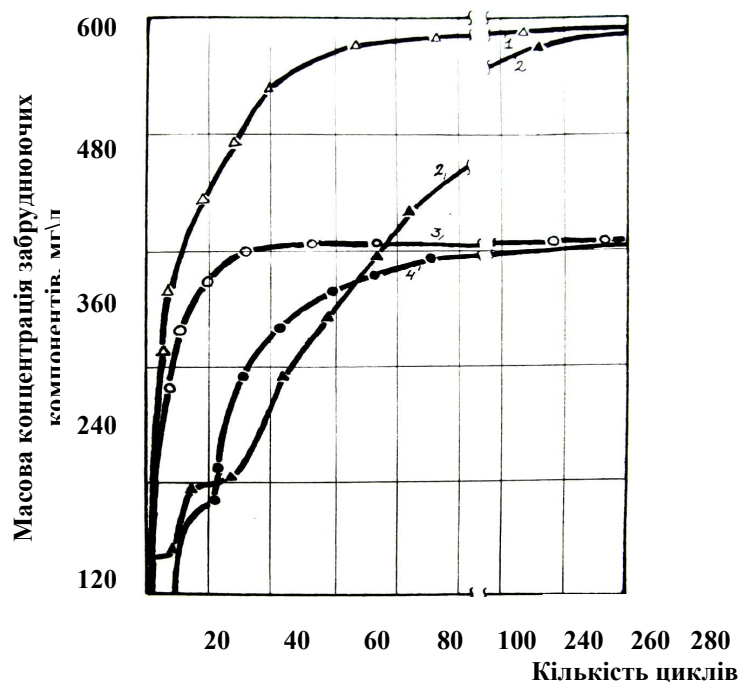
Елементи технологічної системи виробництва картону, а саме: басейни для акумулювання маси, баки оборотної води, ємності, призначені для очищення стічних вод мають певний запас води, і відносяться за класифікацією динамічних характеристик до другої, третьої і четвертої груп [2]. Таким чином, вони змінюють динаміку проходження потоків води і впливають на динаміку і рівень забруднення водопотоків водорозчинними забруднюючими компонентами всієї системи виробництва. З метою вивчення цього впливу необхідно провести мінімум два етапи розрахунків на персональному комп'ютері за використання попередньо розроблених моделей [4,5].

На першому етапі розрахунків, виконаного за допомогою персонального комп'ютера, динамічні характеристики кожного елемента (блоку) технологічної системи прирівнювалися до елементів першої групи [2] (тобто таких, що не мають динамічного запізнення і для яких проходження усіх водопотоків підпорядковується швидкості, з якою відбувається відливання картонного полотна на сітці КРМ). Кількість циклів до настання рівноважного стану, момент настання якого контролювався по заданій дузі, дорівнює 99 (див. рис.2).

На другому етапі розрахунків бралось до уваги, що для чотирьох ємностей з 14 (див. рис. 1) у технологічній системі виробництва характерний момент запізнення, а тому величини коефіцієнтів запізнення вибирали, виходячи із запасів води, які накопичуються в цих басейнах. Так, ємність механо-хімічного очищення води (блок 12) відноситься до елементів четвертої групи і має коефіцієнт п'ятикратного запізнення, ємність біологічного очищення води (блок 13) як елемент четвертої групи має коефіцієнт десятикратного запізнення, басейн (блок 3) відноситься до елементів третьої групи і має коефіцієнт трьохкратного запізнення, басейн (блок 2) відноситься до елементів другої групи і має коефіцієнт восьмикратного запізнення. Кількість циклів до настання рівноважного стану виросло на другому етапі розрахунків до 264.

Головний висновок з аналізу двох варіантів розрахунків полягає в тому, що технологічна система в обох випадках (без і за врахування запізнення, що створюють ємності) виходить на рівноважний стан за рівних значень показників за всіма компонентами водорозчинних мінеральних і органічних компонентів у кожному з водопотоків.

Цей висновок підтверджується графічними залежностями (рис.2), що відтворюють динаміку накопичення на прикладі водорозчинних органічних компонентів у водопотоках після біологічного очищення (дуга 13-14) і сульфат-іонів у водопотоках, що виходять із басейну (дуга 2-5).



- 1- сульфати без врахування динамічного запізнення;
2- те саме з врахуванням динамічного запізнення;
3- розчинні органічні компоненти після біологічної очистки з врахуванням динамічного запізнення.
4- розчинні органічні компоненти після біологічної очистки без врахування динамічного запізнення

Рис. 2 – Динаміка підвищення масової концентрації забруднюючих компонентів у водотоках технологічної системи

Якщо під час розрахунків рівноважного стану в технологічній системі (рис.1) різниця в кількості циклів по двом варіантам розрахунків становить 165, то для більш складної технологічної системи ця різниця може значно зрости.

Разом з тим, якщо в процесі проектування технологічної системи необхідні тільки величини значень концентрацій водорозчинних забруднюючих компонентів, розрахунки проводяться без врахування динамічного запізнення, яке створюють елементи другої, третьої та четвертої груп.

Якщо ж розрахунки часу виходу на рівноважний стан стають необхідними на стадії розробки проекту технологічної системи (за реконструкції діючого підприємства), то вони виконуються за використання програмного забезпечення на персональному комп'ютері з врахуванням динамічного запізнення всіх елементів технологічної системи [4].

Разом з тим, часто виникають ситуації, коли в процесі розроблення (проектування) складної технологічної системи виробництва паперу або картону розробників цікавить середньозважене значення концентрацій водорозчинних мінеральних компонентів, які найбільшим чином впливають на стан водотоків системи, то в такому випадку технологічну систему можна максимально спростити і подати у вигляді єдиної ємності, прив'язаної до навколишнього середовища (рис. 3).



Рис. 3 – Умовна технологічна схема картонно-паперового виробництва за визначення джерел забруднення водорозчинними мінеральними компонентами

Динаміку накопичення водорозчинних мінеральних компонентів можливо розглянути на прикладі сульфат-іонів, які є найбільш характерним компонентом під час виробництва картонно-паперової продукції.

Загальна кількість сульфатів у системі $S(t)$ в момент часу t може бути визначена у відповідності із залежністю:

$$S(t) = W \cdot C^S(t) \quad (1)$$

де W - водоемність технологічної системи;

$C^S(t)$ - масова концентрація сульфат-іонів у технологічній системі на момент часу t .

Зміна (приріст) кількості сульфатів визначається підвищенням їх масової концентрації в технологічній системі за незмінної водоемності.

Диференціюючи рівняння (1) отримаємо:

$$dS(t)/dt = W \cdot dC^S(t)/dt \quad (2)$$

Приріст кількості сульфатів здійснюється за рахунок того, що з моменту часу $t=0$ і до настання рівноваги для технологічної системи в цілому правочинний вираз наступного виду:

$$dS(t)/dt = \sum_{k=1}^{sk} P_k \cdot C_k - \sum_{k_1=1}^{st} P_{k_1} \cdot C^S(t) \quad (3)$$

де $\sum_{k=1}^{sk} P_k \cdot C_k$ - кількість сульфатів, що надходять у технологічну систему із джерел забруднення;

sk - кількість джерел забруднення;

$\sum_{k_1=1}^{st} P_{k_1} \cdot C^S(t)$ - кількість сульфатів, що виносяться з технологічної системи в зовнішнє середовище;

st - кількість виходів із системи.

Вирішуючи спільно рівняння (2) і (3) одержимо:

$$W \cdot dC^S(t) / dt = \sum_{k=1}^{sk} P_k \cdot C_k - \sum_{k_1=1}^{st} P_{k_1} \cdot C^S(t) \quad (4)$$

Позначивши: $\sum_{k=1}^{sk} P_k \cdot C_k = AS$ - кількість (кг) забруднюючих компонентів (сульфатів), що надходять до технологічної системи ;

$\sum_{k_1=1}^{st} P_{k_1} = BS$ - кількість води (та пара) (л), що виходить з технологічної системи;

$$\text{отримаємо:} \quad AS - BS \cdot C^s(t) = W \cdot dC^s(t)/dt \quad (5)$$

Перед інтегруванням у виразі (5) необхідно розділити змінні:

$$dC^s(t)/[AS - BS \cdot C^s(t)] = dt/W \quad (6)$$

Проінтегрувавши вираз (6) і визначивши постійну інтегрування C , виходячи з умови, що за $t=0$ $C^s = C^v$ (початкова концентрація сульфатів дорівнює концентрації їх у джерелі свіжої води), одержимо вираз для визначення концентрації сульфатів виду:

$$C^s(t) = AS/BS - (AS/BS - C^v)/e^{BS \cdot t/W} \quad (7)$$

Таким чином, у будь-який момент часу t значення концентрації сульфат-іонів у технологічній системі залежить від кількості сульфатів AS , які надходять в систему виробництва з волокнистою сировиною, хімікатами та ін., а також від концентрації сульфат-іонів у природному джерелі свіжої води C^v , водоемності технологічної системи W і кількості води BS , яка виводиться із системи зі стоками, парою та готовою продукцією.

У певний момент часу приріст кількості сульфат-іонів стає настільки малим, що в технологічній системі настає динамічна рівновага $dS \rightarrow 0$.

Час виходу технологічної системи на рівновагу (з точністю δ_1) можна визначити за виразом:

$$C_{рівн.}^s - C_{поточн.}^s = \delta_1 \quad (8)$$

де $C_{рівн.}^s$ - кінцева (рівноважна) концентрація сульфат-іонів у технологічній системі;

$C_{поточн.}^s$ - концентрація сульфат-іонів у технологічній системі на момент часу t .

Рівноважна масова концентрація $C_{рівн.}^s$ визначається за формулою (7) за умови, що $t \rightarrow \infty$.

$$C_{рівн.}^s = AS/BS \quad (9)$$

Підставляючи значення $C_{рівн.}^s$ та $C_{поточн.}^s$ (з виразу 7) у формулу (8) і відповідно перетворивши її, одержимо вираз для визначення часу t виходу технологічної системи на рівновагу (з точністю δ_1):

$$t = (W \cdot \ln(K_s)/\delta_1)/BS \quad (10)$$

де:

$$K_s = AS/BS - C^v \quad (11)$$

Аналіз формули (11) показує, що значення t багато в чому визначається відношенням величини водоемності W технологічної системи до кількості води BS , що виноситься із системи та перебуває в логарифмічній залежності від відношення величини K_s і величини δ_1 .

Чим більше водоемність технологічної системи та чим менше BS , тим довший проміжок часу виходу технологічної системи на рівноважний стан.

Як видно із виразу (11), значення K_s вирізняється від значення $C_{рівн.}^s$ на величину C^v (тобто на ту кількість сульфатів, яка міститься у свіжій воді).

Прагнення збільшити точність визначення настання рівноважного стану в технологічній системі (при цьому δ_1 зменшується) призводить до того, що час t настання цього стану зростає.

Висновки

Таким чином, базуючись на поставленій меті та враховуючи результати досліджень і прогнозних розрахунків, виконаних на базі математичних моделей визначено закономірності впливу емностей на динаміку і рівень забрудненості водопотоків в процесах виробництва паперу та картону. Разом з тим, у

випадку, коли в процесі розроблення (проектуювання) складної технологічної системи виробництва паперу або картону розробників цікавить середньозважене значення концентрацій водорозчинних мінеральних компонентів, які найбільшим чином впливають на стан водопотоків системи, то в такому випадку технологічну систему можна максимально спростити і подати у вигляді єдиної ємності, прив'язаної до навколишнього середовища (рис.3). Розрахунок середньозважених значень концентрацій водорозчинних мінеральних компонентів можливо виконати за формулами (7), (9), а час виходу технологічної системи на рівновагу – за формулою (10).

Перспективи подальших досліджень

Подальшим кроком дослідження може стати перевірка результатів, отриманих на базі адекватних математичних моделей, в реальних умовах виробництва.

Список використаної літератури

1. Плосконос В.Г. "Методологія дослідження динаміки функціонування складних систем виробництва паперу та картону", /Вісник НТУУ "КПІ" Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, 2016, Наук.зб., № 1(15), с. 71-74.
2. Плосконос В.Г. " Структурні аспекти взаємодії та математичні моделі елементів складних систем виробництва паперу та картону", /Вісник НТУУ "КПІ" Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, 2017, Наук.зб., № 1 (16), с.35-38.
3. Примаков С. П., Барбаш В. А. Технологія паперу і картону: Навч. посіб./ Друге видання, переробл. - Київ: ЕКМО, 2008. - 425 с.
4. Плосконос В.Г., Якименко О.С. "Використання методу групового врахування аргументів для розроблення інформативних планів експерименту в дослідженні систем виробництва паперу та картону",/Вісник НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, 2019, Наук.зб., № 1 (18), с.92 -96.
5. Кикоть В.С., Плосконос В.Г. Идентификация характеристик сложных проектируемых систем с использованием самоорганизации и топологического метода анализа. - Автоматика, 1986, №3, с.34-42.
6. Плосконос В.Г. "Нові тенденції в методології дослідження стану складних систем картонно-паперового виробництва",/Вісник НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, 2020, Наук.зб., № 1 (19), с.65 -70.

Надійшла до редакції 15.02.2021

Ploskonos V., Gondovska A.

RESEARCH OF THE DYNAMICS AND LEVEL OF WATERCOURSE POLLUTION BY PAPER AND PAPERBOARD PRODUCTION PROCESSES

The use of waste paper as a fibrous semi-finished product in the production of paper and paperboard products makes it possible to somewhat reduce the consumption of cellulose. However, waste paper contains a number of water-polluting components of mineral and organic nature, which were introduced into its composition at the stage of production. One of the issues that may arise in the design of technological systems for the production of a given type of paper or cardboard or in the reconstruction of existing production to reduce losses of fibrous semi-finished products and ensure their optimal use or reduce fresh water consumption is to calculate the pollution and also to determine the impact of cardboard and paper production tanks and treatment plants on the dynamics and level of watercourse pollution.

To study and analyze the paper and cardboard production processes, which belong to the class of complex technological systems [1-3], a methodology was developed that, using computer technology [4-6], allows assessing the state of a technological system until its implementation in action. However, from a practical point of view, methods still should be developed that will allow the designer to find solutions to problems that may arise at the design stage of the technological system for production of a given type of paper or cardboard or in the reconstruction of existing production. These problems are related to the calculation of the pollution level and the determination of impact from cardboard and paper production tanks and treatment facilities. The purpose of this article is to conduct research and

forecast calculations based on mathematical models to determine the patterns of influence exerted by tanks on the dynamics and level of watercourse pollution in the production of paper and cardboard. The generalized technological system of cardboard production [1], which is presented in the form of a material flow graph [2], is taken as an object for research. Water-soluble contaminants of mineral and organic nature enter the production system together with fibrous raw materials, partly with fresh water, and with chemical additives used to impart certain qualities to the product at the stage of its production and at the stage of mechano-chemical water purification. In order to study their impact, it is necessary to conduct at least two stages of calculations on a personal computer using pre-designed models [4,5] for the dynamics and level of watercourse pollution.

At the first stage, the dynamic characteristics of each element of the technological system were equated to elements that do not have a dynamic delay and for which the passage of all watercourses is subject to the speed at which the cardboard web is cast on the mesh. The number of cycles before equilibrium is 99. In the second stage of calculations, it was taken into account that the four tanks in the technological system of production are characterized by a moment of delay and, therefore, the values of delay factors were chosen based on water reserves that accumulate in these basins. The number of cycles before equilibrium in the second stage increased to 264. The main conclusion from the analysis of two options: the technological system in both cases goes to equilibrium at equal values for all components of water-soluble mineral and organic components.

However, there are often situations when, in the process of developing (designing) a complex technological system for the production of paper or cardboard, developers are interested in the weighted average concentration of water-soluble mineral components that most affect the state of water flows, and then the technological system can be simplified and presented as a single container linked to the environment. The time t for the technological system to reach equilibrium (with an accuracy of $\delta 1$) is as follows:

$$t = (W \cdot \ln(K_s/\delta_1))/BS$$

Analysis of the calculation formula shows that the t value is largely determined by the ratio of the water capacity W of the process system to the amount of water BS removed from the system. The greater the water capacity of the technological system and the smaller the BS , the longer the time the technological system reaches equilibrium. The next step of the study is to verify the results obtained on the basis of adequate mathematical models in actual production conditions.

Keywords: paper and cardboard production, cardboard and paper production capacities, dynamics and level of watercourse pollution.

References

1. Ploskonos VG (2016) "Methodology of research of dynamics of functioning of difficult systems of production of paper and cardboard", / Bulletin of NTUU "KPI" Chemical engineering, ecology and resource saving, Nauk.zb., № 1 (15), p. 71-74.
2. Ploskonos VG (2017). "Structural aspects of interaction and mathematical models of elements of complex systems of paper and cardboard production", / Bulletin of NTUU "KPI" Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation, Na-uk.zb., № 1 (16), p.35- 38.
3. Primakov SP, Barbash VA. () Technology of paper and cardboard: Textbook. on his own./ Second edition, reworked. - Kyiv: EKMO, 2008. - 425 p.
4. Ploskonos VG, Yakimenko OS. (2019). "Using the method of group consideration of arguments for the development of informative experimental plans in the study of paper and cardboard production systems", / Bulletin of NTUU "Igor Sikorsky KPI" Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation, Nauk.zb., № 1 (18), pp.92 -96.
5. Kikot VS, Ploskonos VG (1986). Identification of characteristics of complex designed systems using self-organization and topological method of analysis. - Automation, №3, p.34-42.
6. Ploskonos VG (2020). "New trends in the methodology of studying the state of complex systems of cardboard and paper production", / Bulletin of NTUU "KPI named after Igor Sikorsky" Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation, Nauk.zb., № 1 (19), p.65 -70.