

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ФІТОПЛАНКТОНУ У ВИХІДНІЙ ВОДІ І У ФІЛЬТРАТІ

Д. В. Чарний¹, І. С. Кузмич²

1 – Інститут водних проблем і меліорації НААНУ, м. Київ
e-mail: dmitriych10@gmail.com

2 – Київський національний університет будівництва і архітектури м. Київ
e-mail: egor_ks@i.ua

На основі даних, отриманих в результаті фільтрування на пінополістирольному завантаженні води, в якій міститься фітопланктон, проведено дослідження на відповідність шести законам розподілу. Встановлено, що розподіл фітопланктону у вхідній та вихідній воді відповідає нормальному закону розподілу.

Ключові слова: фітопланктон, фільтрування, закон розподілу, водозабірно-очисні споруди

Вступ

Останніми десятиріччями робота водозабірних споруд, як і робота очисних споруд водопроводів з забором води з каскаду Дніпровських водосховищ значно ускладнюється піковими, фактично катастрофічними спалахами розмноження фітопланктону, головним чином ціанобактерій [1, 2]. Проблема визначення факторів, що спричиняють бурхливий розвиток ціанобактерій розглядалася багатьма дослідниками, в тому числі були проведені спроби виявити кореляційні зв'язки [3] для статистично обґрунтованого визначення механізмів запуску таких процесів. Ці дослідження виявили цілий ланцюг складних і на перший погляд мало детермінованих факторів, які в сукупності призводять до різкого погіршення якості вихідної води у період "катастрофічного цвітіння". Діючі очисні споруди не розраховані на очищення води такої якості і наразі застосовують як майже універсальний засіб – підвищені дози попереднього хлорування, що, у свою чергу, призводить до погіршення якості води. Хлор може потенційно лізувати клітини ціанобактерій, вивільняючи токсичні метаболіти. Хлор також має потенціал, щоб ефективно погіршити ці токсини. Крім того, систематично оцінений ефект від хлору на подальше вивільнення і деградацію токсинів *мікроцистін*. Досліджено, що внутрішньоклітинний токсин, звільняється від пошкоджених клітин в три рази швидше, ніж сама клітина деградує під впливом хлору. Також встановлено, що деградація позаклітинного мікроцистину хлором залежить від рН, впливу хлору, і присутності клітини ціанобактерій [4, 5, 6]. Одним із можливих, на наш погляд, шляхів покращення існуючої ситуації - підвищення бар'єрної функції водозабірних споруд - є забезпечення їх конструктивно – технологічної здатності затримати більшість фітопланктону і, тим самим, не допустити подальшого проникнення останнього на наступні стадії процесу водопідготовки. Аналізуючи розподіл конструкції водозабірних споруди з поверхневих джерел водопостачання по Київській області, встановлено що у більшості випадків забір води здійснюється береговими, дещо рідше - русловими і ще рідше - ковшовими і фільтруючими водозаборами [7]. Така тенденція характерна для всього Дніпровського каскаду. Спираючись на наші лабораторні дослідження визначено, що один з можливих варіантів розв'язання цієї проблеми - це дооснащення берегових водозаборів фільтруючими елементами. Нами, зокрема, досліджено затримання фітопланктону за допомогою зернистого фільтруючого завантаження (легшого за воду) на основі гранул пінополістиролу.

Мета

Отримані результати дослідів зазвичай мають стати основою для моделювання процесів, які відбувалися під час експерименту. Для визначення напрямку моделювання необхідно визначити закон розподілу. Це в подальшому спростить побудову адекватної моделі, яка є наступним кроком у публікаціях по обґрунтуванню застосування на водозабірних спорудах легкого фільтруючого завантаження з метою вилучення фітопланктону. В цій публікації представлено процес визначення найбільш відповідних законів розподілу і, відповідно, подальшого напрямку моделювання.

Методика лабораторних досліджень

Дослідження фільтрації води, що містить фітопланктон проводилися на воді [3, 8, 9], яка транспортувалася від водозабірної ковша, розташованого на березі річки Дніпро, в двох кілометрах від Дніпровської ГЕС. Експериментальна установка (рис. 1.) з розмірами в плані \varnothing 150 мм, висота – 1700 мм, виконана з прозорого матеріалу для візуального спостереження за процесом фільтрації.

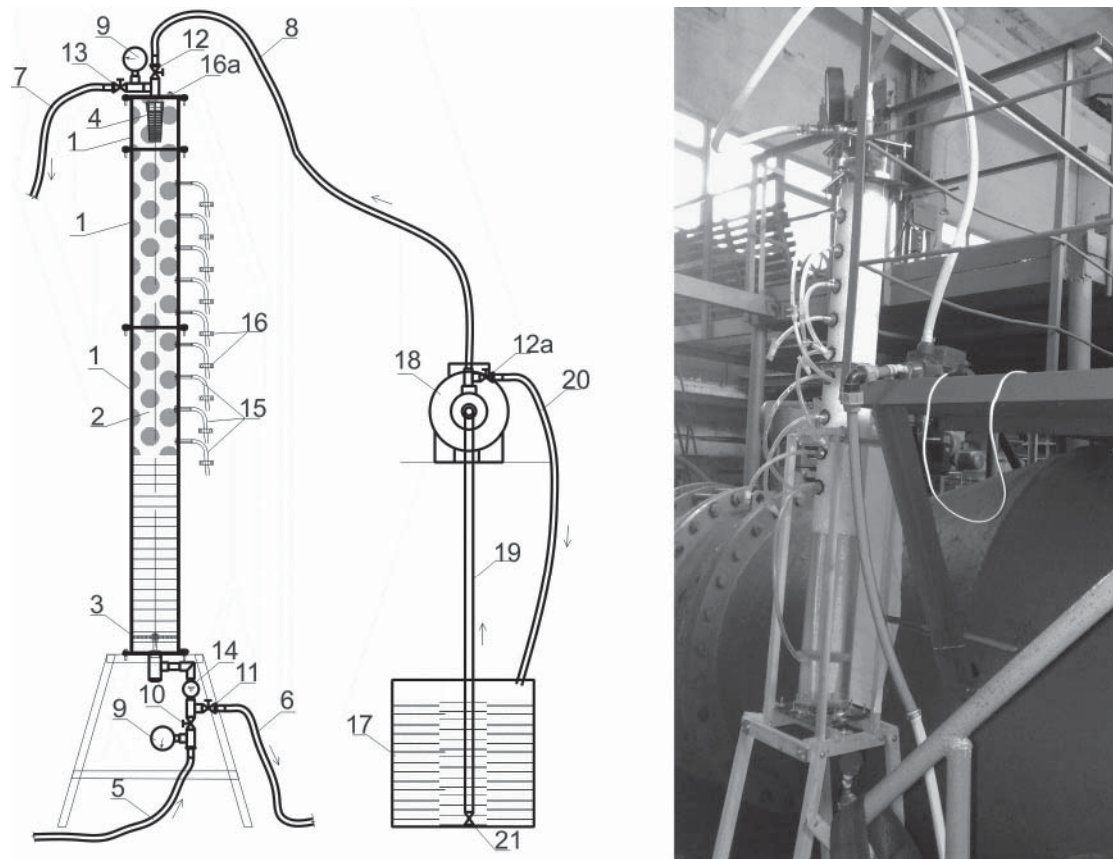


Рис.1. Схема установки для проведення досліджень вилучення фітопланктону фільтруванням на пінополістирольному завантаженні:

- 1- прозора колона \varnothing 150мм; 2- фільтруюче завантаження; 3- розподільча решітка 0,1мм;
- 4- ковпачок шпаровий; 5- трубопровід надходження вихідної води; 6- дренажний трубопровід; 7- трубопровід освітленої води; 8- промивний трубопровід; 9- манометр;
- 10,10а,11,12,13- запірний кран; 14- водолічильник; 15- пробовідбірники; 16- зажими;
- 16а- спускник повітря; 17- бак з водою для промивки; 18- насос; 19- всмоктувальний трубопровід; 20- перепускний трубопровід; 21- зворотній клапан.

У верхній частині установки, над фільтруючим шаром, розташований надфільтровий простір висотою 250 мм. Висота підфільтрового простору становить 0,45 м, так як при

зворотному промиванні, завантаження розширюється на 45 – 50 % своєї товщини. Розмір ефективного діаметра гранул пінополістирольного фільтруючого шару становив 2,06 мм і 4,6 мм, а його товщина – 1,0 м. Швидкість фільтрування змінювалася в інтервалі 10 ... 80 м/год, концентрація клітин коливалася від 3000 до 6900 кл/см³, каламутність води - від 3 до 4 мг/дм³. Тривалість фільтроциклу оцінювалася зміною співвідношення C/C_0 профільованої води. Відбір проб здійснювався через кожні 2 ...8 годин. Для запобігання виносу гранул фільтруючого шару в надфільтровому просторі в нижній і верхній частині цього простору знаходиться утримуюча полістирольна система, яка виконана у вигляді сітки з квадратними осередками розміром 1,5 мм. Установка була розміщена в камері перемикачів ДнВС ПАТ «Київводоканал».

У процесі проведення експериментів проводився контроль вмісту клітин водоростей у вихідній і профільованій воді. Гідробіологічні аналізи відібраних проб виконувалися на матеріальній базі Хімбаклабораторії ДнВС «Київводоканал». Концентрування водоростей здійснювалось методом прямої фільтрації, а кількість клітин визначалась за допомогою мікроскопу Біолам у відповідності до методики [10, 11, 12].

Тривалість фільтроциклу визначалась за часом зменшення затримання клітин водоростей $C/C_0 \geq 0,1$ кл/см³.

У процесі роботи експериментальної установки кількість клітин фітопланктону у фільтраті по висоті фільтра зростала за рахунок відриву його від поверхні зерен завантаження при різних параметрах фільтрування, що можна описати таким рівнянням:

$$C_i = f(d_e, l, V_\phi, T_\phi)$$

де C_i - кількість клітин фітопланктону у початковій воді, мг/дм³; T_ϕ - тривалість роботи фільтруючого завантаження після його промивання, год; d_e - еквівалентний діаметр частинок спіненого полістиролу, мм; l - товщина фільтруючого завантаження, м; V_ϕ - швидкість фільтрування води, м/год.

Кількість дослідів для кожного варіанту повинно складати не менше трьох. У дослідженнях для більшої достовірності отриманих результатів це число рівнів приймалося $n_p = 4$.

Таким чином, виконаний короткий аналіз визначальних чинників та їх рівнів дозволяє визначити загальне число різних дослідів. Їх число [13] рівне

$$n_d = n_p^{n_f}$$

де $n_p = 4$ - число рівнів; $n_f = 4$ - число факторів.

Отже, для достовірності отриманих експериментальних досліджень має бути проведено не менше, ніж $n_d = 4^4 = 256$ дослідів.

Результати експерименту

Концентрації клітин фітопланктону у вихідній воді та фільтраті, отримані в результаті проведення експериментальних досліджень на установці (рис.1), приведені на рис.2.

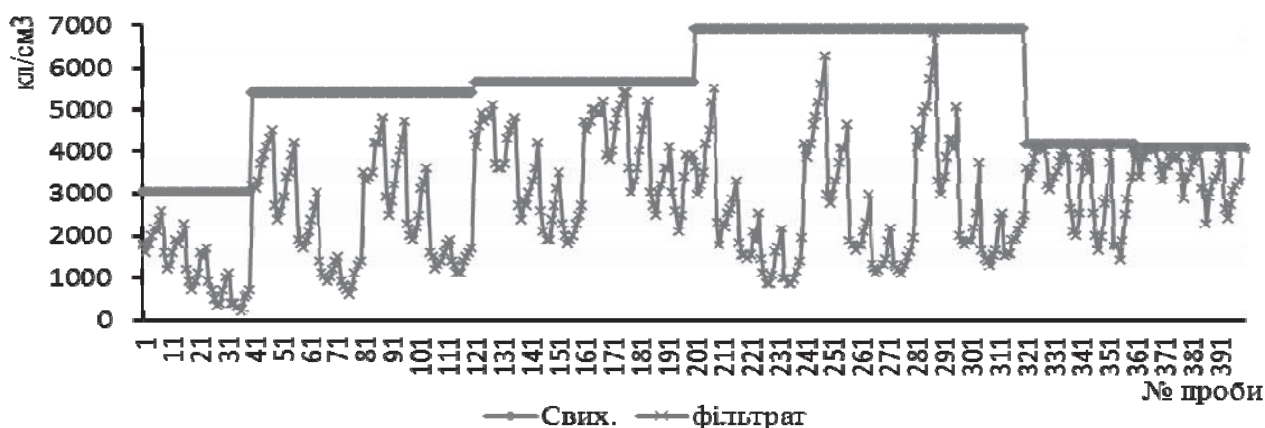


Рис.2. Концентрація фітопланктону у вихідній воді та фільтраті при відборі проб.

Визначення законів розподілу

Проведено дослідження на відповідність отриманих в результаті роботи експериментальної установки (рис.1) даних шести законам розподілу: нормальному, рівномірному, логнормальному, експоненціальному, гамма-розподілу, χ^2 (хі-квадратичному).

Закони розподілу проілюстровані графіками у вигляді емпіричних даних та очікуваних розподілів (рис. 3 - 8). Очікуваний закон наведено у вигляді кривої теоретичного закону розподілу, а емпіричний – у вигляді гістограми, побудованої за даними спостережень. Наведені відповідно цим графікам показники у таблицях відображають характер розподілу:

- χ^2 - критерій узгодженості Пірсона (чим менше його значення, тим більше вірогідність того, що аналізована величина має передбачуваний закон розподілу);
- число ступенів свободи (df - визначається як $df = n-l-1$ де n - число інтервалів, на які розбитий діапазон змін випадкової величини; l - число оцінюваних параметрів розподілу);
- p - рівень значимості критерію (визначає ймовірність помилки при відхиленні гіпотези про нормальність).

Аналіз проводили з використанням програмного забезпечення за ліцензією GNU, для його проведення використовувалися програмні пакети Gnumeric, SciDAVis та PSPPP – відкритий аналог SPSS [14-18].

Визначення закону розподілу концентрації фітопланктону $C_{фх}$ (тис. кл/см³) у вихідній воді та фільтраті проводили для кількості дійсних випадків - 400.

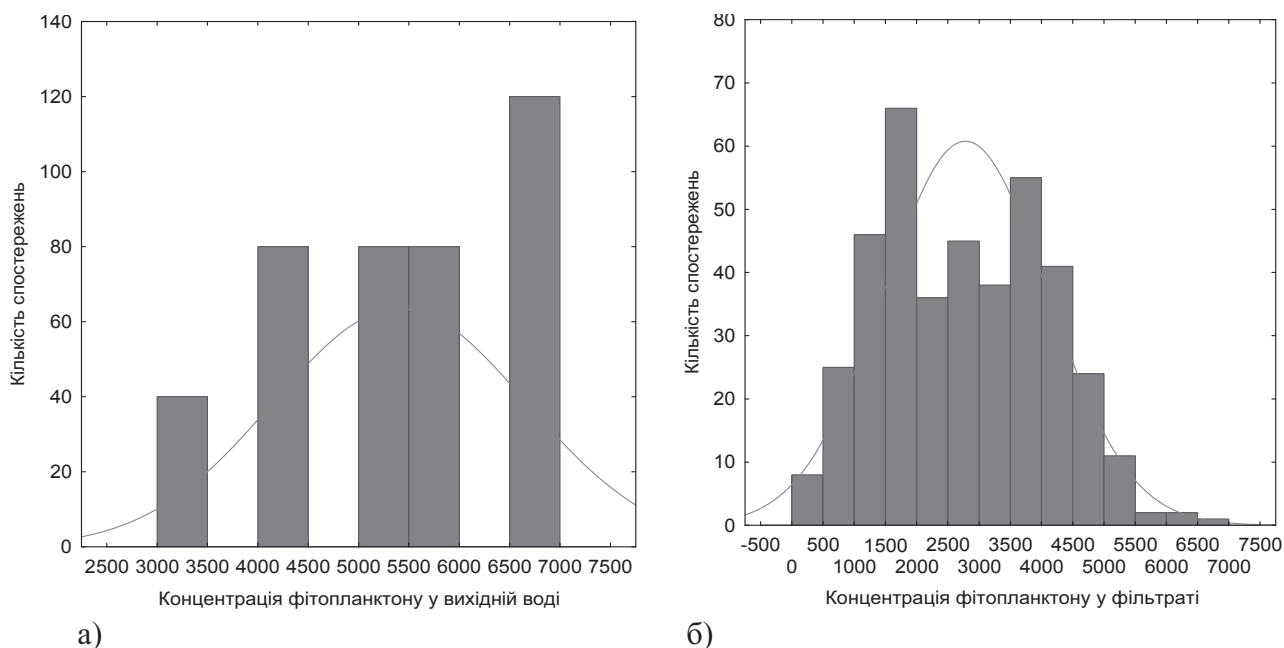
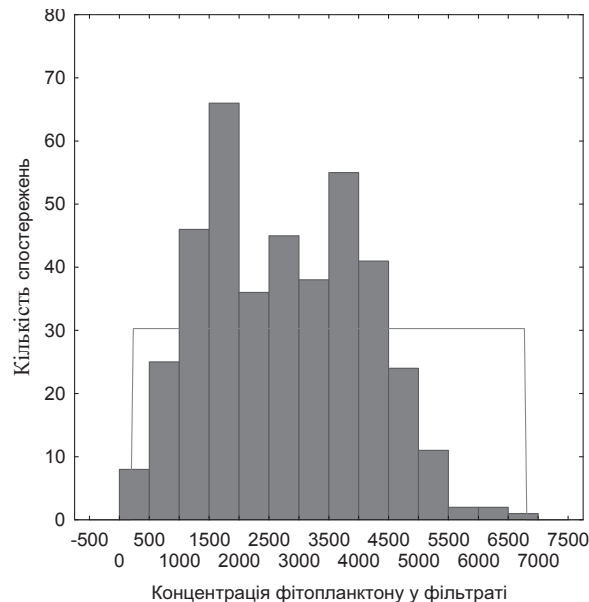
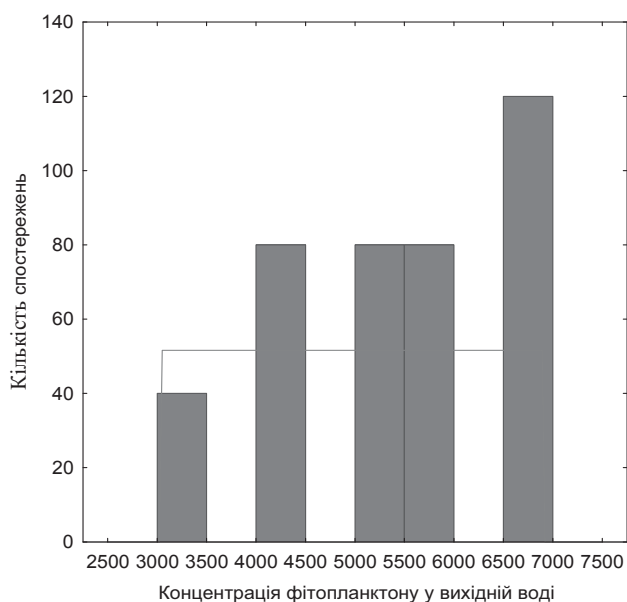


Рис.3. Перевірка на відповідність нормальному закону розподілу концентрації фітопланктону у: а – вихідній воді; б – фільтраті.

Результати нормального закону розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді та фільтраті - наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Нормальний закон розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді

	Спостереження		Параметри		χ^2 тест	df	p -рівень
	середнє	дисперсія	середнє	дисперсія			
вихідна вода	5409,4	1578754,12	5409,400	1578754	471,1	7	0,000
фільтрат	2782,030	1723392,50	2782,030	1723393	49,94	10	0,000



а)

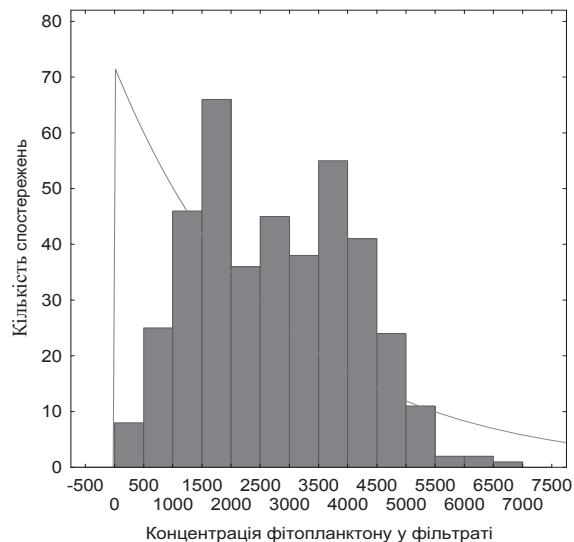
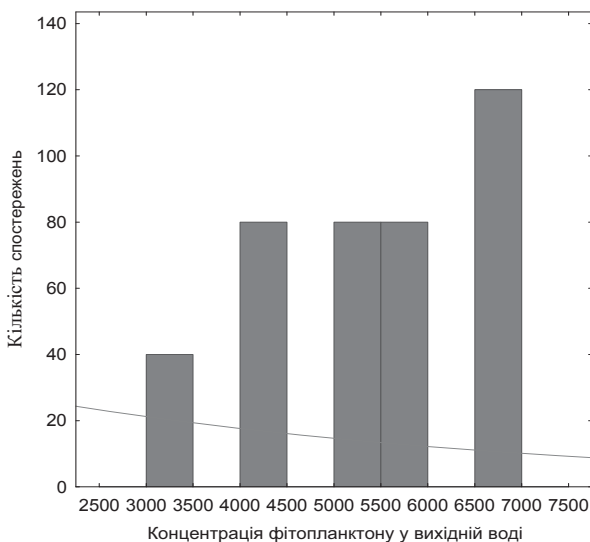
б)

Рис.4. Перевірка на відповідність рівномірному (прямокутному) закону розподілу концентрації фітопланктону у: а – вихідній воді; б – фільтраті.

Результати по рівномірному розподілу даних фітопланктону у вихідній воді та фільтраті наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Рівномірний закон розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді

	Спостереження		Параметри		χ^2 тест	df	p-рівень
	середнє	дисперсія	середнє	дисперсія			
вихідна вода	5409,4	1578754,12	3026,000	6902,000	351,9	5	0,000
фільтрат	2782,030	1723392,50	200,0000	6800,000	173,5	11	0,000



а)

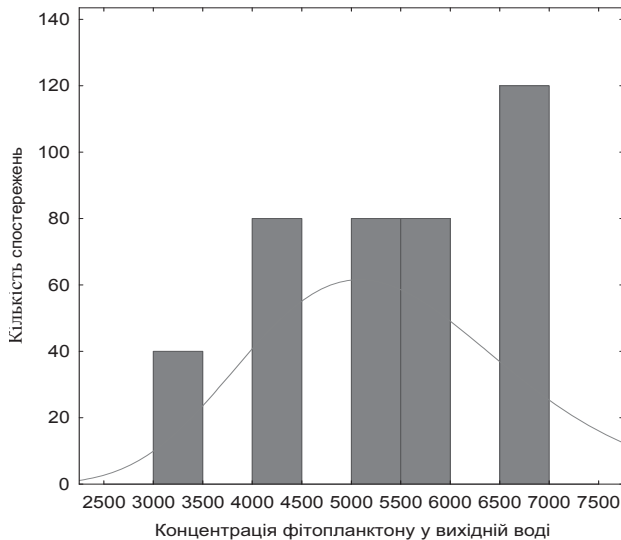
б)

Рис.5. Перевірка на відповідність експоненційному закону розподілу концентрації фітопланктону у: а – вихідній воді; б – фільтраті.

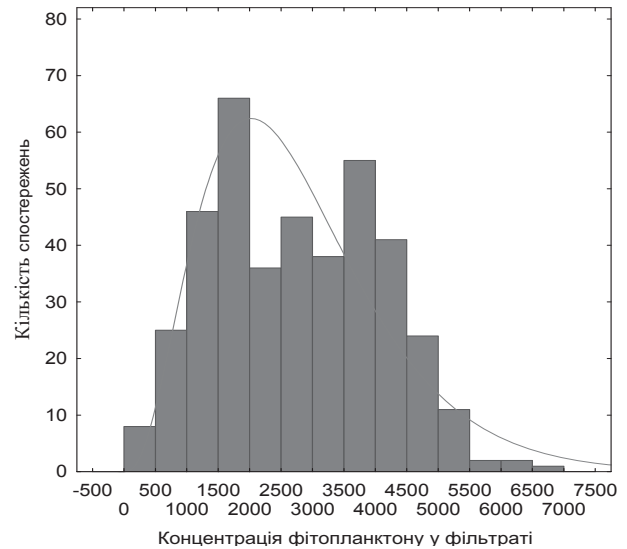
Результати по експоненційному закону розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді та фільтраті наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Експоненційний закон розподілу даних фітопланктону у вихідній воді

	Спостереження		Параметри		χ^2 тест	df	p- рівень
	середнє	дисперсія	середнє	дисперсія			
вихідна вода	5409,4	1578754,12	2372,139	2372,139	8	0,0	5409,4
фільтрат	2782,030	1723392,50	0,3594	278,132	13	0,0	2782,03



а)



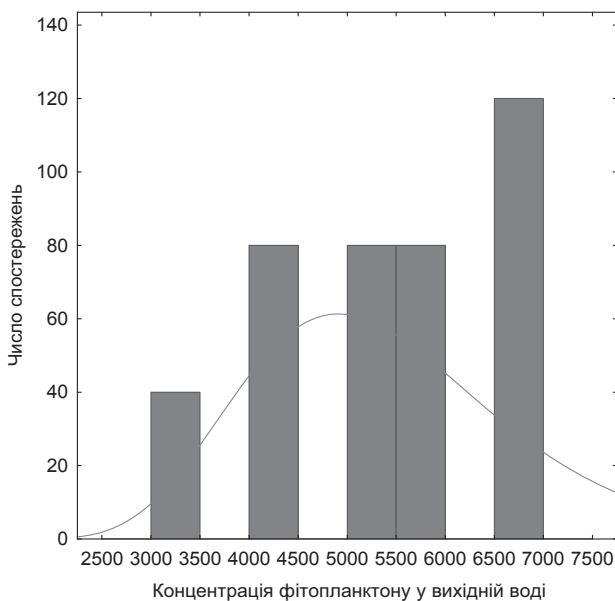
б)

Рис.6. Перевірка на відповідність гамма закону розподілу концентрації фітопланктону у: а – вихідній воді; б – фільтраті.

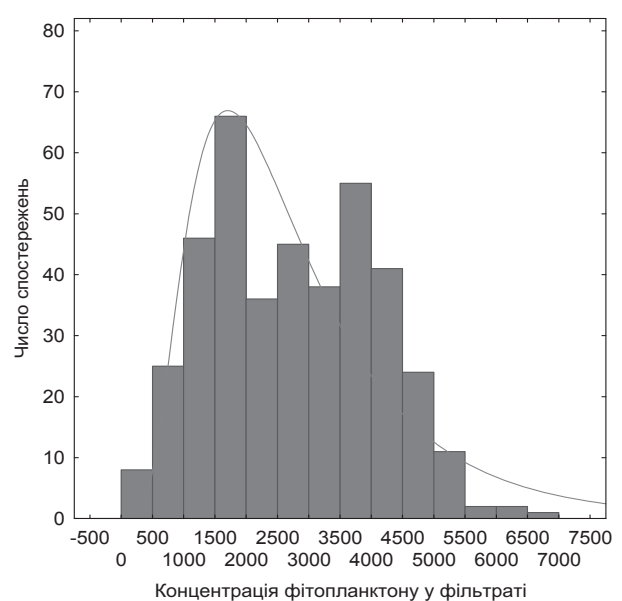
Результати гамма закону розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді та фільтраті наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Гамма-закон розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді

	Спостереження		Параметри		χ^2 тест	df	p- рівень
	середнє	дисперсія	середнє	дисперсія			
вихідна вода	5409,4	1578754,12	326,8057	16,55234	518,8	7	0,000
фільтрат	2782,030	1723392,50	758,5473	3,667576	55,16	9	0,000



а)



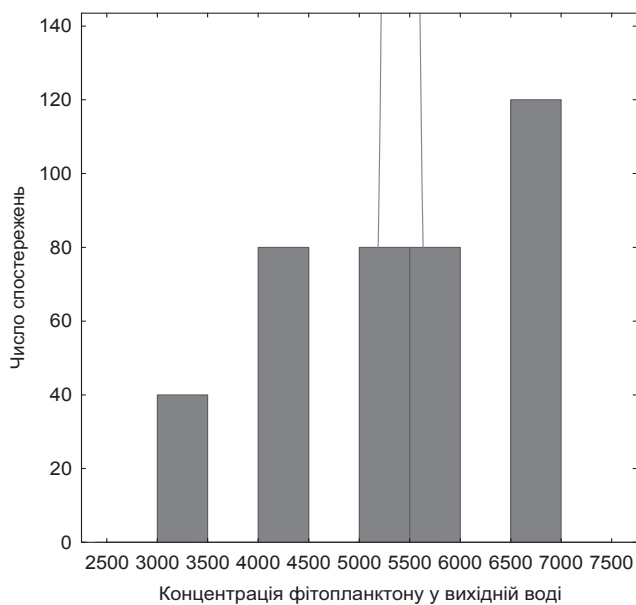
б)

Рис.7. Перевірка на відповідність логнормальному закону розподілу концентрації фітопланктону у: а – вихідній воді; б – фільтраті.

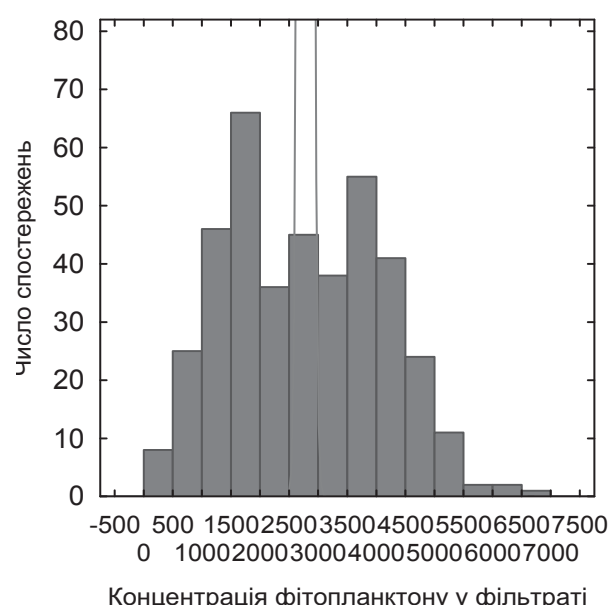
Результати логнормального закону розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді наведені в табл. 5.

Таблиця 5. Логнормальний закон розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді

	Спостереження		Параметри		χ^2 тест	df	p- рівень
	середнє	дисперсія	середнє	дисперсія			
вихідна вода	5409,4	1578754,12	8,565332	0,6573	556,9	7	0,000
фільтрат	2782,030	1723392,50	7,788255	0,3449666	91,72	10	0,000



а)



б)

Рис.8. Перевірка на відповідність χ^2 -квадратичному закону розподілу концентрації фітопланктону у: а – вихідній воді; б – фільтраті.

Результати χ^2 -квадратичного закону розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді наведені в табл. 6.

Таблиця 6. χ^2 -квадратичний закон розподілу даних – фітопланктону у вихідній воді

	Спостереження		Параметри		χ^2 тест	df	p- рівень
	середнє	дисперсія	середнє	дисперсія			
вихідна вода	5409,4	1578754,12	5409,400	–	0	–	5409,4
фільтрат	2782,030	1723392,50	2782,030	–	0	–	2782,03

Висновки

В результаті проведеного аналізу законів розподілу прийшли до наступних висновків:

1. Розподіл фітопланктону у вихідній воді найбільш відповідає нормальному закону.
2. Розподіл фітопланктону у фільтраті найбільш відповідає нормальному закону.
3. Відповідно існує висока вірогідність можливості створення для цих умов стійкої прогнозу моделі застосовуючи множинну лінійну регресію.

4. Враховуючи схильність природних процесів до виходу за межі нормального закону розподілу бажано розробити моделі більш стійкі у випадку зміни закону розподілу. Найбільш оптимальним у таких умовах на наш погляд є розробка і використання моделей на базі нейронних мереж.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В ИСХОДНОЙ ВОДЕ И ФИЛЬТРАТЕ

Д. В. Чарний¹, И. С. Кузмыш²

1 - Институт водных проблем и мелиорации УААН, г. Киев

e-mail: dmitriych10@gmail.com

2 – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев,

e-mail: egor_ks@i.ua

На основе данных, полученных в результате фильтрации на пенополистирольной загрузке воды, в которой содержится фитопланктон проведено исследование на соответствие шести законам распределения. Установлено, что распределение фитопланктона во входной воде фильтрате соответствует нормальному закону распределения.

Ключевые слова: фитопланктон, фильтрация, закон распределения, водозаборно-очистные сооружения.

DEFINITION OF LAW DISTRIBUTION OF PHYTOPLANKTON IN THE SOURCE WATER AND FILTRAT

D. Charniy¹, I. Kuzmych²

1 - Institute of Water Problems and Land Reclamation NAASU, Kyiv, Ukraine

e-mail: dmitriych10@gmail.com

2 - Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

e-mail: egor_ks@i.ua

Based on data obtained in the filter results at the foamed polystyrene loading of water which contains of phytoplankton have conducted research the on accordance of six laws of distributions. Found that the distribution of phytoplankton in the input and the source water corresponds to a normal distribution.

Keywords: phytoplankton, filtration, distribution law, the water intake of treatment facilities.

Список літератури

1. Інформаційна довідка стосовно реалізації Національної програми екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води у 2005 році.
2. Чарний Д.В. Застосування біотехнологій для сучасних умов водокористування в басейні Дніпра / Д.В. Чарний // Водне господарство України 2011, Вип.4. – С. 42–47.
3. Чарний Д.В. Визначення кореляційних зв'язків факторів, які впливають на якість вихідної води за даними Дніпровського водозабору / Д.В. Чарний, І.С. Кузмыш // Вода і водоочисні технології. – К.: – 2013. – №4(10), 2012 - №1(11). – С. 51-65.
4. Daly R.I. Effect of Chlorination on Microcystis aeruginosa Cell Integrity and Subsequent Microcystin Release and Degradation / R.I. Daly, Lionel Ho, J.D. Brookes // Environ. Sci. Technol. – 2007. – № 41. – P. 4447–4453.
5. Arash Zamyadi. Chlorination Microcystis aeruginosa of : Toxin release and oxidation, cellular chlorine demand and disinfection by-products formation / Arash Zamyadi, Yan Fan, Rob I. Daly, Michele Prevost // Water research. – 2013. – 47. – P.1080–1090.
6. Qiaohui Shen. Enhanced algae removal by drinking water treatment of chlorination coupled with coagulation / Qiaohui Shen, Jianwen Zhu, Lihua Cheng, Jinghui Zhang, Zhen Zhang, Xinhua Xu // Desalination.– 2011. – № 271. – P. 236–240.

7. *Хоружий П.Д.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання / Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. – К.: Аграрна наука, 2008. – С. 534.
8. *Кузьмич І.С.* Характеристики фітопланктону при технології забору і очистки води. І.С. Кузьмич // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – К.: 2012, Вип. 20. – С. 53–65.
9. *Федоров В. Д.* О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979, – С. 168.
10. Радченко И.Г. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона / И.Г. Радченко, В.И. Капков, В.Д.Федоров. –М:Мордвинцев, 2010. – С. 60.
11. Водоросли. Справочник / Вассер С. П., Кондратьева Н- В., Масюк Н. П. и др. – Киев: Наук, думка, 1989. – С. 608.
12. *Graham L. E.* Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey / Graham, L. E. Algae, L. W. Wilcox. – 2000. – P. 637.
13. *ГОСТ 8.207 - 76* Прямые измерения с многократными наблюдениями методы обработки результатов наблюдений, – С. 14.
14. *Хахаев И.А.* Gnumeric: Электронная таблица для всех / И.А. Хахаев. - М., ALT Linux 2011. – С. 192.
15. *Пащиорковский В.В.* SPSS для социологов/ В.В. Пащиорковский, В.В. Пащиорковская // Учебное пособие. ИСПЭН РАН -М. : 2005, – С. 433.
16. *Lambert M. Surhone* , Miriam T. Timpledon , Susan F. Marseken //PSPP 2010. – С. 148.
17. PSPP - Summary // <http://savannah.gnu.org/projects/pspp/>
18. *Костин В.С.* Построение обобщенной классификации / В.С. Костин, Ю.Г. Корнюхин // Информационные технологии в гуманитарных исследованиях: Сб. тр. – Новосибирск, 2003. – Вып. 6. – С. 65–72.