

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201901-167>Available at: <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/167>

УДК 628.16:552.546

РАЦІОНАЛЬНІ КОНСТРУКТИВНІ І ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ УСТАНОВОК ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У СІЛЬСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ

Я.Б. Мосійчук¹, В.П. Хоружий², докт. техн. наук¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;<https://orcid.org/0000-0002-9754-6522>; e-mail: y.mosichuk@gmail.com² Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна;<https://orcid.org/0000-0002-5314-0483>; e-mail: horuji@ukr.net

Анотація. Розроблено вискоєфективну, надійну і просту в експлуатації установку для доочищення господарсько-побутових стічних вод в сільській місцевості. Доповнено прямоточну систему «біоконвейер» висхідним фільтруванням води через плаваюче фільтрувальне завантаження для підвищення ефективності процесів очистки стічних вод та надійної роботи водоочисної установки. Наведено результати експериментальних досліджень процесів видалення із господарсько-побутових стічних вод розчинених органічних домішок та завислих речовин при низхідному їх русі через біореактор з волокнистим завантаженням та висхідному русі через контактний прояснювальний фільтр з пінополістирольним завантаженням. Встановлено, що ефективність очищення води залежить від багатьох факторів і одними з основних є швидкість фільтрування води V_f і питома брудомісткість фільтра G : спочатку вони зменшуються внаслідок накопичення активного мулу в підфільтровому просторі, а потім починають збільшуватись унаслідок збільшення гідравлічного опору рухові води і виносу цього осаду у фільтровану воду. Досліджено, що нормативні показники очистки можуть бути досягнуті тільки при швидкості фільтрування води $V_f < 3 \text{ м/год}$, при якій оптимальна питома брудомісткість контактної-прояснювального фільтра становить $G_{\text{opt}} = 48 \text{ кг/м}^2$. Експериментально встановлено, що контроль закінчення фільтроциклу з переведенням установки на промивку контактної-прояснювального фільтра можна виконувати за величиною максимальних втрат напору $h_{f \text{ max}}$. Запропоновано раціональні конструктивні і технологічні параметри цих споруд для досягнення належної якості очищеної води з мінімізацією експлуатаційних витрат при різних умовах експлуатації водоочисної установки.

Ключові слова: якість води, біохімічне споживання кисню (БСК), біореактор, контактний прояснювальний фільтр, волокнисте завантаження, питома брудомісткість фільтра, втрати напору.

Актуальність. Практично всі поверхневі води України за останні десятиріччя інтенсивно забруднюються недостатньо очищеними стічними водами, унаслідок чого концентрація забруднень в них перевищує встановлені нормативи якості води, особливо для водойм рибогосподарського призначення і господарсько-питного водопостачання. Господарсько-побутові стічні води утворюються як суміш фекальних мас і стоків побутових приміщень. За складом ці води відносно однорідні. Вони вміщують органічні та мінеральні домішки, мають високу біологічну активність, часто забруднені яйцями гельмінтів. У цих водах знаходиться близько 58% органічних і 42% мінеральних речовин [1]. До них входять сполуки азоту, кальцію, магнію, фосфору, натрію, гідрокарбонатів, хлоридів, сульфатів і багатьох інших хімічних елементів і речовин. Унаслідок вмісту в цих водах азотистих, фосфорних і калійних сполук вони мають певну удобрювальну цінність і при

використанні для зрошення сприяють підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. Але скидання біогенних елементів із азоту і фосфору у природні водойми призводить до приросту зоопланктону, що спричиняє зниження концентрації кисню у воді та створенню проблем у рибному господарстві та водопідготовці з таких водойм.

У зв'язку з розвитком котеджного будівництва та підприємств по переробці сільськогосподарської продукції, розташованих переважно в сільській місцевості, розробка вискоєфективних, надійних і простих в експлуатації установок для очищення господарсько-побутових стічних вод невеликої продуктивності є досить актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Для доочищення стічних вод застосовують переважно два технологічні процеси: біологічна очистка та фільтрування, які здійснюють, відповідно, на біореакторах та фільтрах. Біологічні методи очищення ґрунтуються на життєдіяльності мікроорганізмів,

© Я.Б. Мосійчук, В.П. Хоружий, 2019

які мінералізують розчинені в стічних водах органічні сполуки, використовуючи енергію окислення для своєї життєдіяльності, а матеріал – для відновлення речовин клітки, що розпадається. Малі очисні споруди в сільській місцевості характеризуються високою нерівномірністю гідравлічних і органічних навантажень та зміною складу і властивостей стічних вод.

Метою досліджень є удосконалення конструкції установок для доочищення господарсько-побутових стічних вод та визначення їх раціональних конструктивних і технологічних параметрів для підвищення ефективності очистки води та забезпечення економічної і надійної роботи.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводили з використанням методичних підходів, які застосовуються у вітчизняній та міжнародній практиці. Для вирішення поставленої задачі застосовували методи фізичного і математичного моделювання процесів, а також чисельні і аналітичні методи визначення та аналізу параметрів роботи каналізаційних споруд.

Результати дослідження та їх обговорення. Споруди біологічної очистки за видом розташування в них активної біомаси поділяють на три групи [2]:

- біофільтри, в яких біомаса закріплена на нерухомих матеріалах, а стічна вода проходить повз матеріал завантаження;
- аеротенки, окситенки та циркуляційні окиснювальні канали, в яких біомаса знаходиться у вільно плаваючому завислому стані;
- біореактори та біотенки з носіями, в яких поєднуються два перших варіанти.

Як показав досвід експлуатації таких споруд, в сільській місцевості доцільно застосовувати споруди третьої групи для біологічної очистки стічних вод.

Мінімізувати небажані побічні явища, які супроводжують біочищення (вторинне бактеріальне забруднення, утворення осадів), дозволяє розроблений в Інституті колоїдної хімії та хімії води НАН України (професор П.І. Гвоздяк) біоконвейер [3], основним робочим елементом в якому є біоценоз мікроорганізмів, іммобілізованих на синтетичних волокнах ВІЯ.

Суть біоконвейера полягає у багатоступінчастому біологічному очищенні стічних вод при прямоточному їх русі, при якому послідовно усуваються різні типи органічного забруднення при проходженні води крізь окремі секції біоконвейерної установки. У процесі життєдіяльності мікроорганізмів з біоплівки звільняється мікробіальна речовина (клітини, продукти лізису та метаболізму), яка породжує вторинне забруднення. Для його усунення стічну рідину, що пройшла біоконвейер (біореактор), потрібно профільтрувати, найкраще через фільтр з плаваючим фільтрувальним завантаженням при висхідному русі стічної води [4; 5].

З метою використання останніх досягнень науки і техніки у галузі доочищення стічних вод невеликої продуктивності, що характерно для сільських населених пунктів та підприємств АПК, запропоновано [4-6] установки з біореакторами і контактними прояснювальними фільтрами (рисунок 1).

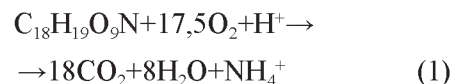
Установка працює так. Після попереднього очищення стічна вода по трубопроводу 1 при відкритій засувці 22 надходить через аератор 3 на біореактор 2 з волокнистим завантаженням 7, волокна якого натягнуті між колосниковими решітками 8. У нижню частину біореактора по трубопроводу 9 подається від компресора повітря через повітророзподільну систему 10. Біореактор виконує такі функції:

Установка працює так. Після попереднього очищення стічна вода по трубопроводу 1 при відкритій засувці 22 надходить через аератор 3 на біореактор 2 з волокнистим завантаженням 7, волокна якого натягнуті між колосниковими решітками 8. У нижню частину біореактора по трубопроводу 9 подається від компресора повітря через повітророзподільну систему 10. Біореактор виконує такі функції:

- біохімічне окиснення домішок, що перебувають у стічній воді;
- видалення з води газів для виключення пухирцевої кольматації у підфільтровому просторі 20 контактено-прояснювального фільтра 12;
- забезпечення постійної швидкості фільтрування протягом фільтроциклу завдяки підвищенню рівня води в ньому від z_{\min} до z_{\max} на величину Δh_{ϕ} .

Мікроорганізми, що населяють біоплівку, яка утворюється на поверхні ниток волокнистого завантаження, окиснюють речовини, що знаходяться у стічній воді, киснем повітря, отримуючи при цьому енергію для своєї життєдіяльності.

Стічна вода рівномірно розподіляється між нитками волокнистого завантаження, обтікаючи їх поверхню, на якій утворюється біоплівка з аеробними мікроорганізмами. При цьому відбуваються такі процеси як адгезія, сорбція, дифузія, деструкція, окиснення, унаслідок чого протікає швидке видалення органічних речовин з рівнянням [7]:



Для здійснення цієї реакції потрібно 1,42кг кисню O_2 на 10кг органічних речовин.

З нижньої частини біореактора по трубі 11 через водорозподільну систему 21 стічна вода надходить у контактено-прояснювальний фільтр 12 і рухається знизу догори через пінополістирольне завантаження 14, збирається

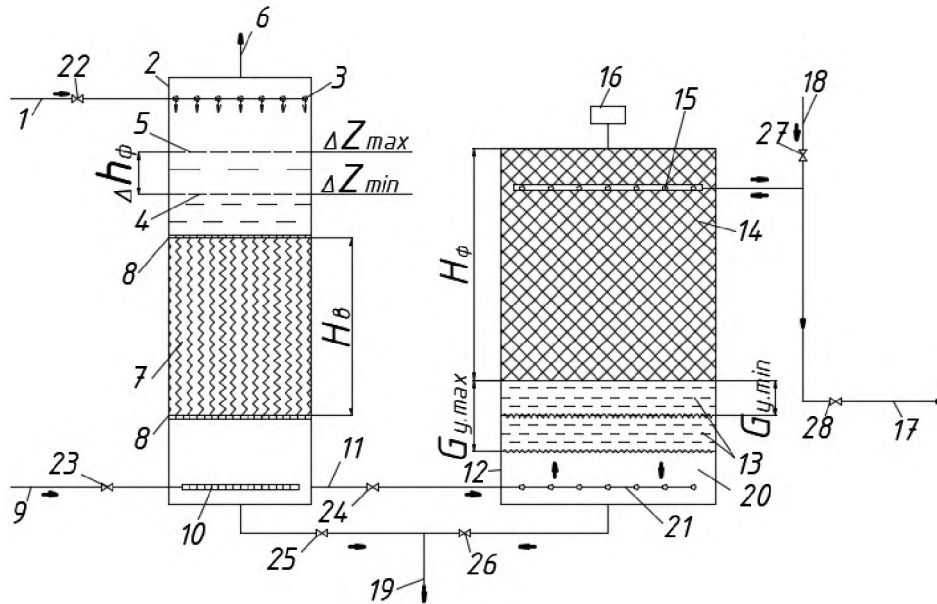


Рис. 1. Технологічна схема установки для доочищення стічних вод з біореактором і контактньо-прояснювальним фільтром:

- 1 – подача стічних вод після попереднього очищення; 2 – біореактор; 3 – аератор; 4 – мінімальний рівень води в біореакторі; 5 – максимальний рівень води в біореакторі; 6 – видалення газів; 7 – волокнисте завантаження; 8 – колосникові решітки; 9 – подача повітря від компресора; 10 – повітродозуюча система; 11 – подача рідини з біореактора; 12 – контактньо-прояснювальний фільтр; 13 – активний мул; 14 – фільтрувальне завантаження з гранул пінополістиролу; 15 – ковпачковий дренаж; 16 – вантуз; 17 – відвід очищеної води; 18 – подача води на промивку контактньо-прояснювального фільтра; 19 – відведення осаду і промивної води з контактньо-прояснювального фільтра та біореактора; 20 – підфільтровий простір; 21 – дренажно-розподільна система; 22-28 – засувки

ковпачковим дренажем 15 і відводиться по трубопроводу 17 при відкритій засувці 28.

У контактньо-прояснювальному фільтрі відбувається глибоке очищення води при її висхідному русі. У підфільтровому просторі 20 цього фільтра накопичується активний мул 13, який приймає участь в очищенні води від органічних і завислих речовин (мінеральна група).

Очищена вода відповідає нормативним показникам [8; 9] для фільтра даної конструкції і при даній швидкості фільтрування води V_{ϕ} , коли питома брудомісткість контактньо-прояснювального фільтра знаходиться у межах між G_{\min} та G_{\max} [4]. Питома брудомісткість фільтра для даної швидкості фільтрування води називається кількістю осаду, що припадає на 1 м^2 площі фільтра, $\text{кг}/\text{м}^2$. Вона визначається за формулою:

$$G_t = 0,001 V_{\phi} C_0 \int_0^{T_{\phi}} E_i d_i, \text{ кг}/\text{м}^2 \quad (2)$$

де C_0 – вміст забруднень у вихідній воді, $\text{мг}/\text{дм}^3$; T_{ϕ} – тривалість роботи фільтра, год; E_i – ефективність процесу очищення води в i -й момент часу в долях одиниці, яка визначається за формулою:

$$E_i = \frac{C_0 - C_{\phi.i}}{C_0}, \% \quad (3)$$

де $C_{\phi.i}$ – вміст забруднень у фільтрованій воді в даний момент часу, $\text{мг}/\text{дм}^3$.

Як показали проведені нами дослідження [10-12], показники якості очищеної води змінюються протягом часу фільтрування води T_{ϕ} і залежать від швидкості фільтрування V_{ϕ} і питомої брудомісткості фільтра: спочатку вони зменшуються внаслідок накопичення активного мулу в підфільтровому просторі, а потім починають збільшуватись внаслідок збільшення гідравлічного опору рухові води і виносу цього осаду у фільтровану воду.

У таблиці 1 наведено результати досліджень зміни у фільтрувальній воді протягом фільтроциклу T_{ϕ} вмісту органічних сполук по показнику біохімічного споживання кисню (БСК_5) від швидкості фільтрування води V_{ϕ} , $\text{м}/\text{год}$ та кількості активного мулу (питома брудомісткість фільтра G , $\text{кг}/\text{м}^2$), а в таблиці 2 – показників вмісту завислих речовин $C_{\phi.i}$ від цих самих параме-

1. Результати експериментальних досліджень процесів видалення розчинних органічних речовин із стічних вод на установці з біореактором і контактньо-прояснювальним фільтром

Т _ф , діб	V _{об} = 1 м/год		V _{об} = 3 м/год		V _{об} = 6 м/год	
	G, кг/м ²	БСК ₅ , мг/дм ³	G, кг/м ²	БСК ₅ , мг/дм ³	G, кг/м ²	БСК ₅ , мг/дм ³
1	1,76	10,3	5,28	16,9	10,75	22,4
2	3,62	9,6	11,31	18,1	21,21	21,7
3	5,72	9,6	18,07	20,1	31,39	20,8
4	7,75	8,3	24,23	17,8	41,77	21,2
5	9,67	7,9	30,20	15,6	52,10	18,8
6	11,61	7,2	35,78	14,4	61,66	17,3
7	13,63	6,5	41,19	13,8	71,65	17,7
8	15,54	6,1	46,36	13,0	82,22	18,6
9	17,42	5,8	51,67	13,2	93,00	20,0
10	19,51	6,3	57,26	14,4		
11	21,52	6,2	63,00	15,4		
12	23,48	5,8	68,57	16,0		
13	25,76	6,4	74,64	17,3		
14	27,90	6,3				
15	30,00	6,0				
16	31,86	5,7				
17	34,00	6,3				

2. Результати експериментальних досліджень процесу видалення завислих речовин із стічних вод на установці з біореактором і контактньо-прояснювальним фільтром

Т _ф , діб	V _{об} = 1 м/год			V _{об} = 3 м/год			V _{об} = 6 м/год		
	C _{об} , мг/дм ³	G, кг/м ²	h _{об} , мм	C _{об} , мг/дм ³	G, кг/м ²	h _{об} , мм	C _{об} , мг/дм ³	G, кг/м ²	h _{об} , мм
1	6,5	1,76	1	14,3	5,28	3,0	20,0	10,75	5,0
2	6,6	3,62	2,3	14,2	11,31	6,5	19,5	21,21	11,0
3	7,4	5,72	3,9	14,1	18,07	10,5	19,2	31,39	18,0
4	7,1	7,75	5,8	13,8	24,23	15,0	19,0	41,77	26,0
5	6,5	9,67	8,0	13,5	30,20	20,0	17,5	52,10	35,0
6	6,4	11,61	10,5	13,3	35,78	26,5	14,9	61,66	45,0
7	6,3	13,63	13,3	13,4	41,19	33,5	15,2	71,65	56,0
8	5,5	15,54	16,4	13,3	46,36	41,0	16,2	82,22	68,0
9	5,4	17,42	19,8	13,3	51,67	49,0	17,5	93,00	84,0
10	5,8	19,51	23,5	13,3	57,26	57,5			
11	5,6	21,52	27,5	13,8	63,00	66,5			
12	5,3	23,48	31,8	14,5	68,57	76,0			
13	6,1	25,76	36,4	15,0	74,64	86,0			
14	5,7	27,90	41,3						
15	5,6	30,00	46,5						
16	5,0	31,86	52,0						
17	5,7	34,00	57,8						

трів. Дослідження виконували при середніх значеннях цих показників у вихідній воді: БСК₅=84,5 мг/дм³ і С₀=95 мг/дм³.

Нормативні значення величин БСК₅ та С_ф для можливості скидання очищених стічних вод у водойми господарсько-питного призначення приймали [8] рівними: БСК₅=15 мг/дм³ і С_ф=15мг/дм³. Ці граничні значення (лінія 4) наведені на рисунках 2 і 3, що побудованих за даними відповідно таблиць 1 і 2.

Як видно з результатів досліджень, більш складними є видалення органічних забруднень із стічних вод (БСК₅). Нормативні показники можуть бути досягнуті тільки при швидкості фільтрування води до 3 м/год (рисунок 2), при якій питомі брудомісткості контактньо-прояснювального фільтра становлять:

- мінімальна G_{мін}=35 мг/м², що настає після Т_{ф,зар}=5,5 діб роботи установки («зарядки» фільтра);

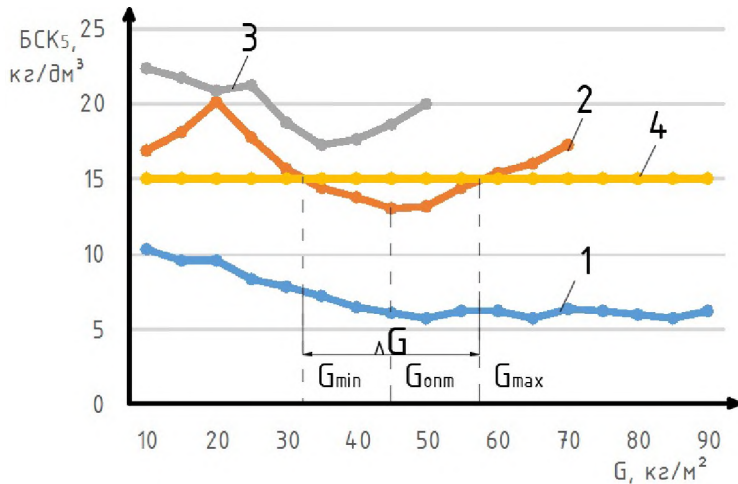


Рис. 2. Графіки залежності $BCK_5=f(G, V_\phi)$ при швидкостях фільтрування води:
1 – $V_\phi=1$ м/год; 2 – $V_\phi=3$ м/год; 3 – $V_\phi=6$ м/год;
4 – лінія граничної величини BCK_5 для можливості скидання очищених стічних вод у водойми

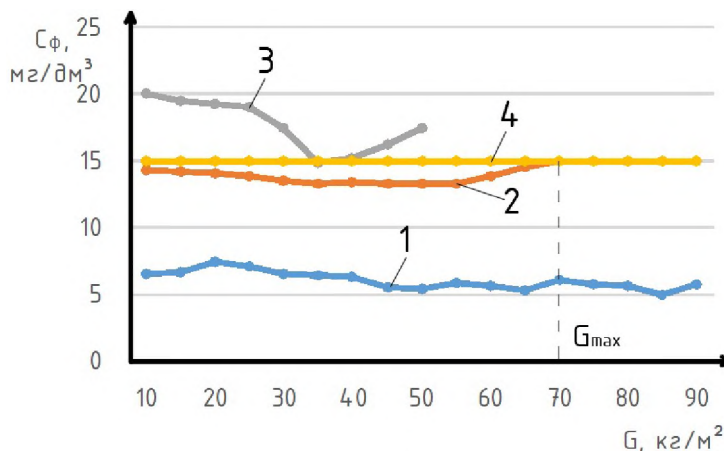


Рис. 3. Графіки залежності $C_\phi=f(G, V_\phi)$ при швидкостях фільтрування води:
1 – $V_\phi=1$ м/год; 2 – $V_\phi=3$ м/год; 3 – $V_\phi=6$ м/год;
4 – лінія граничної величини C_ϕ для можливості скидання очищених стічних вод у водойми

- максимальна $G_{max} = 64$ кг/м², що настає після $T_{ф.зар} = 11,5$ доби роботи установки;
- оптимальна $G_{опт} = 48$ кг/м², при якій установка має найбільшу ефективність очищення стічних вод від органічних домішок. Отже, при швидкості фільтрування $V_\phi = 3$ м/год тривалість роботи установки, при якій забезпечуються нормативні показники очищеної води по БСК₅, становить $T_{ф.роб} = 6$ діб, а приріст величини питомої брудомісткості контактнo-прояснювального фільтра дорівнює $\Delta G = G_{max} - G_{min} = 29$ кг/м².

Після досягнення максимально допустимого накопичення активного мулу G_{max}

контактнo-прояснювальний фільтр потрібно промити зворотнім рухом води. Для цього промивну воду подають по трубі 18 при відкритих засувках 26 і 27 (рисунок 1) та всіх інших закритих. Промивну воду разом з осадом скидають трубопроводом 19, зменшуючи вміст активного мулу в контактнo-прояснювальному фільтрі на величину ΔG , тобто з G_{max} до G_{min} . Після цього закривають засувки 27 і 26, відкривають засувки 24 і 28, а установку включають для корисної роботи. Тривалість промивки контактнo-прояснювального фільтра з даною інтенсивністю вибирають при пуско-налагоджувальних роботах установки.

З таблиці 2 і рисунка 3 видно, що при швидкостях фільтрування води $V_\phi = 6$ м/год не забезпечуються нормативні вимоги за вмістом завислих речовин у фільтрованій воді, а при $V_\phi = 3$ м/год ці вимоги задовольняються до питомої брудомісткості $G_{max} = 75$ кг/м², яка настає після 13 діб роботи установки.

З таблиці 2 бачимо, що при $V_\phi = 3$ м/год після $T_\phi = 5,5$ діб і $G_{min} = 35$ кг/м² і втрати напору контактнo-прояснювального фільтра $h_{ф.min} = 68$ мм, тобто приріст втрат напору за період корисної роботи установки становить $h_\phi = h_{ф.max} - h_{ф.min} = 42$ мм.

Якщо показники якості вихідної стічної води (БСК₅ і C₀) протягом фільтроциклу не змінюються, то контроль закінчення фільтроциклу з переведенням установки на промивку контактнo-прояснювального фільтра можна виконувати за величиною максимальних втрат напору $h_{ф.max}$.

Висновки. Оскільки природні води за останні роки активно забруднюються внаслідок антропогенного навантаження, то розробка високоефективних, надійних і простих в експлуатації установок для доочищення господарсько-побутових стічних вод у сільській місцевості є досить актуальною.

Для підвищення ефективності процесів очистки стічних вод та надійності роботи водоочисної установки прямоточну систему «біоконвейер» доцільно доповнити висхідним

фільтруванням води через плаваюче фільтрувальне завантаження.

На основі експериментальних досліджень процесів видалення із господарсько-побутових стічних вод розчинених органічних домішок та завислих речовин на установці з біореактором і контактено-прояснювальним фільтром встановлено, що ефективність очищення

води залежить від багатьох факторів і одними з основних є швидкість фільтрування води V_f і питома брудомісткість фільтра G .

Розроблено рекомендації з ефективної експлуатації установок запропонованої конструкції для доочищення стічних вод, які забезпечують їх надійну і високоефективну роботу.

Бібліографія

1. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне: Рівненська друкарня, 2002. 622 с.
2. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод Москва: Стройиздат, 1980. 200 с.
3. Гвоздяк П.І. За принципом біоконвейера // Вісник НАН України. 2003. № 3. С. 29-36.
4. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2008. 534 с.
5. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой: науч. изд. Москва: РИО ВоГТУ, 2011. 536 с.
6. Глоба Л.І., Заїка С.А., Гвоздяк П.І., Кілочытський П.Я. Прямоточні біотехнології очищення води – “біоконвейери” // Вода і водоочисні технології. 2018. URL: <http://cleanwater.org.ua/pryamotochni-biotehnologiji-ochyshchennya-vody-biokonveery/> (дата звернення: 05 січня 2018).
7. Jürg Keller, Zhiguo Yuan, Linda L. Blackall. Integrating process engineering and microbiology tools to advance activated sludge wastewater treatment research and development // Reviews in Environmental Science & BioTechnology. Netherland: Kluwer Academic Publishers, 2002. № 1. С. 83-97.
8. ДБН В.2.5-75-2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ: Мінрегіон України, 2013. 128 с.
9. ВНД 33-3.4-01-2000. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та каналізації сільських населених пунктів України. Київ: Державний комітет України по водному господарству, 2000. 144 с.
10. Хоружий В.П. Кінетика висхідного фільтрування води на установках з волокнисто-пінополістирольним завантаженням // Вісник інженерної академії України, 2004. № 2. С. 82-87.
11. Мосейчук Я.Б. Доочистка хозяйственно-бытовых вторичных вод для их использования в сельской местности // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2018. № 1 (69). С. 205-211.
12. Хоружий П.Д., Мосейчук Я.Б., Стасюк С.Р. Методика инженерных расчетов биореакторов для биологического очищения природных и доочищения стічних вод // Меліорація і водне господарство. 2018. № 1 (107). С. 11-16.

References

1. Kovalchuk, V.A. (2002). Ochyistka stichnykh vod [Wastewater treatment]. Rivne: Rivnenska drukarnia. [in Ukrainian].
2. Yakovlev, S.V., & Kariukhyna, T.A. (1980) Biohimicheskie processy v ochistke stochnyh vod [Biochemical processes in wastewater treatment]. Moskva: Stroyizdat. [in Russian].
3. Hvozdiak, P. I. (2003). Za pryntsyptom biokonveiera [by principle bioconveyor]. Visnyk NAN Ukrainy, 3. 29-36. [in Ukrainian].
4. Khoruzhyi, P.D., Khomutetska, T.P., & Khoruzhyi, V.P. (2008). Resursozberihaiuchi tekhnologii vodopostachannia [Resource-saving water supply technologies]. Kyiv: Ahrama nauka. [in Ukrainian].
5. Zhurba, M.H. (2011). Vodoochistnye fil'try s plavayushey zagruzkoj: nauch. Izd [Water filters with floating load]. Moskva: RIO VoGTU. [in Russian].
6. Hloba, L.I., Zaika, S.A., Hvozdiak, P.I., & Kilochytskyi, P.Ya. (2018). Priamotochni biotekhnologii ochyshchennia vody – “biokonveery” [Straight-line biotechnology for water purification – “bioconveyor”]. Voda i vodoochysni tekhnologii. Retrieved from <http://cleanwater.org.ua/pryamotochni-biotehnologiji-ochyshchennya-vody-biokonveery/>.
7. Keller, J., Yuan, Z., Blackall, L.L. (2002). Integrating process engineering and microbiology tools to advance activated sludge wastewater treatment research and development. Reviews in Environmental Science & Biotechnology. Netherland: Kluwer Academic Publishers, 1, 83-97.

8. Kanalizatsiia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia [Sewerage. Outdoor networks and facilities. Basic design points]. (2013). DBN V.2.5-75-2013. Kyiv: Minrehion Ukrainy. [in Ukrainian].
9. Pravyta tekhnichnoi ekspluatatsii system vodopostachannia ta kanalizatsii silskykh naselenykh punktiv Ukrainy [Rules of technical operation of water supply and sewage systems of rural settlements of Ukraine]. (2000). VND 33-3.4-01-2000. Kyiv: Derzhavnyi komitet Ukrainy po vodnomu hospodarstvu. [in Ukrainian].
10. Khoruzhyi, V.P. (2004). Kinetyka vyskhidnoho filtruvannia vody na ustanovkakh z voloknisty-pinopolistyrolnym zavantazhenniam [Upstream water filtration kinetics at installations with fiber-foam polystyrene loading]. Kyiv: Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy, 2, 82-87. [in Ukrainian].
11. Mosiichuk, Ya.B. (2018). Doochistka hozyaystvenno-bytovykh vtorychnykh vod dlya ih ispol'zovaniya v sel'skoy mestnosti [Additional treatment of domestic wastewater for use in rural areas]. Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. Novochoerkassk: FGBNU «RosNIIPM», 1 (69), 205-211. [in Russian].
12. Khoruzhyi, P.D., Mosiichuk, Ya.B., & Stasiuk, S.R. (2018). Metodyka inzhenernykh rozrakhunkiv bioreaktoriv dlia biolohichnoho ochyshchennia pryrodnykh i doochyshchennia stichnykh vod [Method of engineering calculations of bioreactors for biological treatment of natural water and advanced treatment of sewage]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 1 (107), 11-16. [in Ukrainian].

Я.Б. Мосейчук, В.П. Хоружий

Рациональные конструктивные и технологические параметры установок для доочистки сточных вод в сельской местности

Аннотация. Разработана высокоэффективная, надежная и простая в эксплуатации установка доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод в сельской местности. Дополнено прямоточную систему «биоконвейер» восходящей фильтрацией воды через плавающую фильтрующую загрузку. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в сельской местности при нисходящем их движении через биореактор с волокнистой загрузкой и восходящем движении через контактно-осветительный фильтр с пенополистирольной загрузкой. Установлено, что эффективность очистки воды зависит от многих факторов и одними из основных являются скорость фильтрования воды V_f и удельная грязеемкость фильтра G : сначала они уменьшаются вследствие накопления активного ила в подфильтровом пространстве, а потом начинают увеличиваться вследствие увеличения гидравлического сопротивления движению воды и выноса этого осадка в фильтрованную воду. Доказано, что нормативные показатели очистки могут быть достигнуты только при скорости фильтрования воды $V_f < 3$ м/ч, при которой оптимальная удельная грязеемкость контактно-осветительного фильтра составляет $G_{opt} = 48$ кг/м². Экспериментально установлено, что контроль окончания фильтроцикла с переводом установки на промывку контактно-осветительного фильтра можно выполнять по величине максимальных потерь напора $h_{f,max}$. Предложены рациональные конструктивные и технологические параметры этих сооружений для достижения надлежащего качества очищенной воды с минимизацией эксплуатационных затрат при различных условиях эксплуатации водоочистной установки.

Ключевые слова: качество воды, биохимическое потребление кислорода (БПК₅), биореактор, контактно-осветительный фильтр, волокнистая загрузка, удельная грязеемкость фильтра, потери напора.

Y.B. Mosiichuk, V.P. Khoruzhyi

Rational construction and technological parameters of water treatment facilities in rural areas

Abstract. A highly efficient, reliable and easy-to-use plant for tertiary treatment of sewage effluents in rural areas was designed. The direct-flow system «bioconveyor» was supplemented with upward filtration of water through floating filtering media to increase the efficiency of sewage treatment processes and reliable operation of the water treatment plant. The results of experimental investigations of the processes of removal of the dissolved organic impurities and suspended matter from the sewage effluents during their descending movement through the bioreactor with fibrous media and ascending movement through the contact clarifying filter with foam polystyrene media are given. It was established that the efficiency of water treatment depends on many factors and one of the main is the rate of water filtration V_f and the specific dirt content of the filter G : initially they decrease as a result of the accumulation of active sludge in the subfilter space, and then begin to rise due to the increase of hydraulic resistance to water motion and removing this residual matter into filtered water. It was found out that normative parameters of treatment can be achieved only at the

rate of water filtration as $V_f < 3$ m/h, when the optimal specific dirt content of the contact-clarifying filter is $G_{opt} = 48$ kg/m². It was experimentally established that the control of finishing the filter cycle, when the plant is switched to the washing of the contact-clarifying filter can be performed by the maximum pressure loss $h_{f,max}$. The rational design and technological parameters of such structures are proposed for achieving the proper quality of water treatment along with the minimization of operating costs under different operating conditions of a water treatment plant.

Key words: water quality, biochemical oxygen consumption (BOC), bioreactor, contact clarifying filter, fibrous media, specific dirt content of the filter, pressure loss