

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Гідравліка та водопостачання

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття кваліфікаційного ступеня «магістр»

Галузь знань 19 Архітектура та будівництво

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

Спеціалізація Водопостачання та водовідведення

Тема Моделювання роботи біологічних очисних споруд у м. Панютино

Керівник магістерської роботи проф. Біляєв М.М.

Студент Козак Владислав Сергійович

Дніпро
2020 р.

Зміст

Вступ.....	
1. Існуючий стан.....	
2. Виділення технологічних вузлів.....	
3. Опис схеми після реконструкції.....	
4. Водопостачання та каналізація майданчика очисних споруд.....	
5. Результати наукових досліджень.....	
Висновки.....	
Список використаних джерел.....	

Анотація

Магістерська робота присвячена дослідженню процесу біологічної очистки стічних вод в біореакторі, що реконструюється в м. Панютино. Дослідження проведене на базі спеціалізованої математичної моделі. Отримані дані можуть бути використані для підвищення ефективності очистки води на станціях аерації .

Мета роботи : теоретичне дослідження процесу біологічної очистки стічних вод.

Об'єкт дослідження – процес міграції субстрату в біореакторі.

Предмет дослідження – визначення ефективності роботи біореактору .

Методи дослідження – математичне моделювання .

Практичне значення одержаних результатів. Отримані дані можуть бути використані для підвищення ефективності очистки води на станціях аерації в м. Панютино.

Ключові слова : очистка води, біореактор, експеримент, математичне моделювання.

Abstract

The master's thesis is devoted to the study of the process of biological wastewater treatment in a bioreactor that is being reconstructed in Panyutino. The study was conducted on the basis of a specialized mathematical model. The obtained data can be used to increase the efficiency of water treatment at aeration stations.

Purpose: theoretical study of the process of biological wastewater treatment.

The object of study - the process of migration of the substrate in the bioreactor.

The subject of research is to determine the efficiency of the bioreactor.

Research methods - mathematical modeling.

The practical significance of the obtained results. The obtained data can be used to increase the efficiency of water purification at aeration stations in Panyutino.

Key words: water purification, bioreactor, experiment, mathematical modeling.

Вступ

Аналіз результатів експлуатації систем водовідведення нерідко показує необхідність їх посилення. Це пов'язано зі змінами умов функціонування систем порівняно з вихідними даними.

Посилення досягається як новим будівництвом з заміною або розширенням існуючих об'єктів, так і реконструкцією. У послідньому випадку реалізуються не використовувані потенційні виробництвом можливості об'єктів і підлягають заміні або розвантаженню тільки тих лімітуючих елементів, які не здатні нормально працювати в необхідних жорсткіших умовах. Специфіка реконструкції заключається в тому, що вона повинна проводитися з урахуванням існуючої ситуації: обмеженості виробничих площ, розташування об'єктів, їх габаритів і технічного стану, неприпустимість порушення виробничих процесів і т. д. Реконструкція - найбільш ефективний спосіб посилення, так як вона вимагає меншого обсягу робіт, ніж нове будівництво. Зрозуміло, при розгляді альтернативних способів посилення слід проводити техніко-економічні порівняльні розрахунки.

На сьогодні основна частина стічних вод м. Панютино насосною станцією перекачується на каналізаційні очисні споруди (КОС). В наступний час передбачено реконструкцію каналізаційних очисних споруд, що забезпечить вдосконалення систем механічного, біологічного очищення із впровадженням біологічно-хімічного видалення фосфору, модернізацію аераційної системи, систем рециркуляційного і надлишкового мулу, допоміжних систем, що впливають на процес біологічного очищення.

Розділ 1 Існуючий стан

1.1 Місце розташування, коротка характеристика району будівництва.

Панютино — селище міського типу Харківської області, підпорядковане місту обласного значення Лозова.

До селища примикає село Хлібне. Через селище проходять автомобільна дорога Т 2107 і залізниця, станція Панютино. Селище було засноване як залізнична станція Лозова-Азовська під час будівництва залізниці 1869 р. Пізніше станцію перейменували на Панютино. Місцевість була безводною й носила назву «Пустище бузинувате». З цієї причини, незважаючи на однаковий час виникнення, швидше заселялася сусідня Лозова.

Основним підприємством селища є великий вагоноремонтний завод (УДЦ «Укрспецвагон»). Окрім ремонту вантажних вагонів, цистерн, підприємство також здає вагони в оренду. Відтак на заводі працює більшість мешканців Панютино та сусідніх населених пунктів, зокрема й Лозової. Також працює невеликий завод «Електродвигун», «Промбудмайданчик», кілька крамниць, дві кав'ярні.

Чисельність населення на 2017 р становить 7242 л. Клімат Панютино помірно-континентальний. Середня температура липня + 22...+ 25, січня - 5...-8 градусів за Цельсієм. Кількість опадів близько 500—550 мм в рік. Вітри східні та західні. Фактичний розрахунковий обсяг стічних вод – 1 000 м³/добу. Площа ділянки - 2,5 га. Клас наслідків (відповідальності) об'єкту - ССЗ. Об'єкт підвищеної екологічної небезпеки є потенційно небезпечним

1.2 Кліматичні, геологічні, гідрогеологічні умови

Район вишукувань розташований в с.м.т. Панютино Лозівського району Харківської області.

Абсолютні відмітки поверхні (по гирлам свердловин) склали 147,32м - 155,20 м.

В геоморфологічному відношенні ділянка, що досліджується розташована в межах лесової пологоволнистої рівнини на неогеновій підставі. Майданчик очисних споруд розташовується на правому пологіму схилі балки. Тальвег балки заболочений і покритий болотною рослинністю, нижче по потоку переходить в ставок. Далі струмок впадає в р. Брітай, що відноситься до правих притоках Сіверський Донець.

Клімат району помірно-континентальний.

Нормативна глибина сезонного промерзання ґрунту складає 1,1м.

Згідно ДСТУ-НБВ.1.1-27- 2010 архітектурно-будівельна кліматична зона II.

Кліматичні умови району наведені на підставі ДСТУ-НБВ.1.1-27- 2010 (Будівельна кліматологія).

В геоструктурному відношенні територія приурочена до північно-східного борту Дніпровсько-Донецького грабена та характеризується загальним пологим зануренням по-рід докембрійського віку в південно-західному напрямку, перекритих потужною товщею молодших відкладень.

геологічній будові ділянки вишукувань до досліджуваної глибини беруть участь елювіально-делювіальні, еолові четвертинні відкладення, що представлені товщею суглинків, супісків, пісків і глин.

Ґрунтові води зустрінуті сврдл.№№1-5 та №9 на глибині 0,0-5,25м, на абсолютних позначках 147,32-148,29 м.

Водовміщуючими породами служать ПГЕ-2,3,8

Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і витоків з комунікацій.

Ґрунтові води згідно ДСТУ Б В.2.6-145:2010 не роблять агресивного впливу на бетон марки по водонепроникності W4 з вмістом сульфатів в перерахунку на іони SO₄, мг\дм³, при вмісті іонів HCO₃, мг-екв-дм³(т.Б.4).

Ступінь агресивного впливу на арматуру залізобетонних конструкцій з вмістом хлоридів у перерахунку на при постійному зануренні -неагресивна, при періодичному змочуванні – слабоагресивна (т.Б.5)

1.3. Якісний склад стічних вод, що надходять на КОС

У табл. 1.1 представлений якісний склад стічних вод, що надходять на КОС.

Таблиця 1.1

Якісний склад стічних вод, що надходять

№ п/п	Показник	Од. вим.	Значення
1	2	3	4
1.	ХПК	мгО ₂ /дм ³	330
2.	БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	170
3.	Завислі речовини	мг/дм ³	198
4.	Азотамонійний	мг/дм ³	55
5.	Нітрати	мг/дм ³	-
6.	Нітрити	мг/дм ³	-
7.	Хлориди	мг/дм ³	308
8.	Сульфати	мг/дм ³	320
9.	Фосфати (Р)	мг/дм ³	7,6
10.	СПАР	мг/дм ³	0,39
11.	Залізо загальне	мг/дм ³	0,86
12.	Літня температура стічних вод	С°	23
13.	Зимова температура стічних вод	С°	14

1.4. Вимоги до якості очищення стічних вод

Скид очищених стічних вод по «Сухій» балці в р. Лозова, яка впадає в р. Бритаї.

У табл. 1.2 представлені гранично допустимі концентрації очищених стічних вод.

Таблиця 1.2

Гранично допустимі концентрації стічних вод

№ п/п	Показник	Од. вим.	ГДК	№ п/п	Показник	Од. вим.	ГДК
1.	ХПК	мгО ₂ /дм ³	65	8.	Сульфати	мг/дм ³	360
2.	БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	15	9.	Фосфати	мг/дм ³	2,8
3.	Зважені речовини	мг/дм ³	15	10.	Жири	мг/дм ³	-
4.	Азотамонійний	мг/дм ³	1,1	11.	Нафтопродукти	мг/дм ³	0,18
5.	Нітрати	мг/дм ³	16,5	12.	СПАР	мг/дм ³	0,125
6.	Нітрити	мг/дм ³	0,36	13.	Залізогагальне	мг/дм ³	0,35
7.	Хлориди	мг/дм ³	260				

Стоки, що скидаються, не повинні містити життєздатних яєць гельмінтів (аскарид, токсокар, фасциол) і життєздатних цистпатогенних кишкових найпростіших. Припустима кількість колифаг – не більше 1000 КОЕ/1000 мол, припустима кількість лактозо позитивних кишко-вихпалочок – не більше 1000 КОЕ/1000 мол.

1.5. Розрахункова кількість стічних вод

Добова кількість стічних вод, що надходить до нової лінії очисних споруджень, становить 1 000 м³/діб.

Відповідно до ДБНВ.2.5-75:2013 максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності при витраті стічних вод 1 000 м³/діб. Становить 2.

Розрахункові витрати стічних вод, що надходять на КОС, наступні:

Середньо добова витрата	1 000,0	м ³ /діб
Середньо годинна витрата	41,7	м /год.
Середньо секундна витрата	11,58	л/с
Макс. Коефіцієнт годинної нерівномірності	2	
Макс. Годинна витрата	83,4	м ³ /год.
Макс. Секундна витрата	23,16	л/с

1.6. Вимоги на скидання

До очищених стічних вод пред'являються вимоги на скидання у водойму рибогосподарського призначення, надані Замовником, і зазначені в таблиці 1.2.

Розділ 2. ВИДІЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВУЗЛІВ

2.1. Напрямки реконструкції

На очисних спорудах м. Панютино даним проектом виділені наступні технологічні вузли очищення стічних вод:

Вузол механічного очищення;

Вузол біологічного очищення;

Вузол знезараження очищених стічних вод;

Комплекс обробки й зневоднення осаду.

Ефективна робота всього комплексу визначається механічним очищенням стічних вод від нерозчинних у воді мінеральних і органічних речовин. Механічне очищення дозволяє ви-лучити мінеральні компоненти стічних вод із найбільшою ефективністю проводити біологічне очищення.

При представлених значеннях амонію й фосфору фосфатів у випадку організації процесу первинного відстоювання недостатньо органічних речовин на окиснення з'єднань азоту і фосфору. Невисока концентрація зважених речовин стічних вод, що надходять у комплексі з ефективним механічним очищенням на решітках-піскоуловлювачах дозволяє відмовитися від первинного відстоювання.

Ключовим моментом в очисних спорудженнях є спорудження біологічного очищення. Саме на них відбувається основне вилучення біогенних елементів і органічних забруднюючих домішок.

Технологічна схема передбачає глибоке біологічне очищення стічних вод від з'єднань азоту і фосфору.

Знезараження стічних вод проводиться з метою зробити очищені стічні води безпечними в епідеміологічному відношенні.

Комплекс обробки осаду дозволяє зменшити обсяг осаду, що утворюється в процесі очищення стічних вод, доводячи його до кондиції, що

дозволяє транспортувати осад з можливістю наступного його використання в різних областях.

Зазначені заходи супроводжуються впровадженням енергозберігаючого устаткування й системи автоматизації.

2.1.1. Технологічна схема очищення стічних вод

Вихідні стічні води надходять у нову приймальню камеру і далі в будівлю механічного очищення. У будівлі механічного очищення встановлені решітки-піскоуловлювачі - 2 шт. (1роб. 1-рез.), станція підвищення тиску для промивання решітки-піскоуловлювача і бак технічної води. Відброси з решітки та пісок з піскоуловлювача збираються в контейнери і вивозяться з території ОСК на полігон ТПВ.

Стічні води після решіток-піскоуловлювачів надходять в первинні відстійники (2 шт. Д = 9м). Освітлені стічні води надходять на біологічне очищення. Осад первинних відстійників надходить в резервуар осадів або на аварійні мулові майданчики.

Перед подачею стічних вод на біологічну очистку в них дозується етанол. Етанол поставляється в єврокубах і дозується в стічні води мембранним насосом. Склад етанолу та обладнання для його дозування розміщується у знову споруджуваному будинку ПС.

Стічні води, які пройшли механічну очистку надходять у новий аеротенк. Передбачається будівництво 2х секцій аеротенка. Кожна секція включає 2 коридори (зона перемішування і зона аерації) з розмірами кожного коридору 20 * 2 м і гідравлічної глибиною 3,5. Подача стічних вод передбачається в початок першого коридору через середній канал і два щитових затвора. Перший коридор є денітрифікатор, для організації перемішування в ньому встановлюються крупнопузирчасті аератори. Також в початок першого коридору передбачається по-дача зворотного активного мулу (зовнішній рецикл) і мулової суміші з кінця другого коридору секції

аеротенка (внутрішній рецикл). Другий коридор є зоною аерації. Для подачі мулової суміші з кінця другого коридору в початок першого передбачається установка насоса типу «мішалка в трубі».

Повітря до аеротенка подається від насосно-повітродувної станції (нове будівництво). Передбачається установка регульованих повітродувок розрахованих як на середні проектні концентрації стічних вод, так і на максимальні фактичні концентрації, також від цих повітродувок подається повітря в аераційний резервуар.

Мулова суміш від аеротенків надходить в вторинні відстійники 2 шт. $D = 9$ м (реконструкція). Освітлені стічні води після вторинних відстійників проходять знезараження за існуючою схемою і надходять в аераційний резервуар для насичення киснем перед скидом.

Мул з вторинних відстійників надходить в муловий резервуар (нове будівництво 15 м³), звідки насосами, встановленими в НВС, подається в аеротенки (зворотний мул) і резервуар осадів (надлишковий мул) для змішування з осадом первинних відстійників.

У зворотний активний мул передбачається дозування розчину коагулянту для хімічного видалення фосфору.

Коагулянт поставляється в єврокубах і дозується в зворотній мул мембранним насосом. Склад коагулянту і обладнання для його дозування розміщується у знову споруджуваному будинку ПС.

Суміш осаду ПО і надлишкового мулу подається на механічне зневоднення на центри-фуги 2 шт. (1-раб 1-рез) або на аварійні мулові майданчики. Для поліпшення водовіддаючих властивостей в вихідний осад дозується розчин флокулянта. Режим роботи вузла механічного зневоднення осаду - одна зміна (6 годин з урахуванням часу на допоміжні операції) Зневоднений осад надходить в контейнер і вивозиться з території ОСК на полігон ТПВ. Фільтрат і промивна вода вузла зневоднення подається в «голову» ОСК.

2.1.2. Технологічна карта роботи КОС

табл. 2.1 представлена технологічна карта роботи КОС після реалізації рекомендованої технологічної схеми.

Таблиця 2.1

№ п/п	Показник	Од. виміру	Кількість
	Кількість відходів з решіток, $W=90\%$, $\beta=870$ кг/м ³	м ³ /год	0,4
		кг/ год	348
2	Кількість відходів з решіток, $W=70\%$, $\beta=690$ кг/м ³	м ³ /год	0,17
		кг/ год	116
3	Кількість піску, $W=60\%$, $\beta=1,5$ тонн/м ³	м ³ /год	0,133
		кг/ год	200
4	Кількість води для промивки решітки-пісколовки	л/сек	1,8
5	Сирий осад первинних відстійників, $W=97\%$	м ³ /год	2,7
		кг/ год	80
6	Прирост мулу, $W=99\%$	м ³ /год	15
		кг/ год	150
7	Кількість гідроксиду хлору «Полвак-40» (17% по активній частині, Al_2O_3)	м ³ /год	0,2
8	Запас на 30 діб	Од.	6
9	Кількість етанолу	кг/год	396
		л/ год	312,4
10	Запас на 30 діб	од	10
11	Кількість флокулянту для механічного зневоднення осаду	кг/год	1,84
		л/ год	0,92
	Вологість зневодненого осаду	%	80
	Кількість зневодненого осаду	м ³ /год	1,35

Розділ 3. Опис схеми після реконструкції.

Стічні води в каналізаційну насосну станцію надходять з двох самотічних колекторів (Кдіюч.) Ду500. Надходять стоки від північного і західного селища Панютино і від великого державного підприємства «Український державний центр по експлуатації спеціалізованих вагонів», або «Укрспецвагон».

Існуюча каналізаційна насосна виконана кругла в плані з внутрішнім діаметром 6 метрів, глибиною підземної частини 6,8 метрів. Насосна станція відноситься до II категорії надійності. У відповідності з ДБН Ст. 2.5.-75-2013 п. 9.1.1 таблиця 14 в якій для другої категорії допускається перерва подачі стоків не більше 6 годин або зниження подачі в межах певного зниження води в системах водопостачання населеного пункту і промислового підприємства.

Проектом передбачено встановлення двох заглибних насосів фірми "Xylem" (1 робочий + 1 резервний + 1 на складі як додаткове обладнання) з технічними характеристиками насоса $Q = 83,9 \text{ м}^3/\text{рік}$; $H = 15,0 \text{ м}$; $N = 6,2 \text{ кВт}$; $n = 2915 \text{ об/хв}$; Ін.до.168 мм; $U = 400\text{V}$; 50Гц.

Каналізаційна станція повністю є автономною (автоматизованою), яка не вимагає присутності людини. Ремонт насоса тільки після підйому.

Стічні води подаються на Панютинські очисні споруди по існуючому напірного трубопроводу Ду200 (Кндійсн.; К1Н проєктований ділянку трубопроводу) в приймальну камеру яка розташована в проєктованому приміщенні механічної очистки (ДП 11).

Продуктивність очисних споруд 1000 м³/добу згідно з технічним завданням.

Основні методи очищення стічних вод на очисних Панютино:

- метод механічного очищення (будівля механічного очищення та зневоднення, існуючі двоярусні відстійники);

- біологічний метод (аеротенки і вторинні вертикальні відстійники).

Стоки після приймальної камери по трубопроводу (К1 проєктований) надходять до решітки-пісколовки. Bilfinger Johnson Water Technologies італійська компанія в області виготовленні обладнання для попереднього очищення промислових і побутових стічних вод.

На решітках - проціджування (видалення твердих домішок), а на пісколовках значне зниження мінеральних забруднень (пісок).

Пісковловлювачів прийнято не менше двох. У відповідності з ДБН Ст. 2.5.-75-2013 п. 10.2.2.1 Всі робочі. До і після обладнання передбачені затвори.

З решіток кількість відходів $0,17\text{м}^3/\text{добу}$, що становить при щільності відходів $750\text{кг}/\text{м}^3$ $0,17 \times 750 = 127,5$ кг/добу. З пісколовок кількість піску $0,14\text{м}^3/\text{добу}$, що становить при щільності і $1700\text{кг}/\text{м}^3$ $0,14 \times 1700 = 238$ кг/добу. Відходи і пісок здираються в різні сміттєві євроконтейнери об'ємом $1,1\text{м}^3$ (вантажопідйомністю 500 кг) і передбачено вивозити на полігон ТПВ.

Попередньо очищений стік подається по трубопроводу (К1.2) через існуючий колодязь гаситель в існуючі первинні двоярусні відстійники $D = 9$ метрів (ДП 2). Відстійники призначені для осадження з стічної рідини нерозчинних речовин. Стічна вода надходить через підвідний лоток осадові жолоби (в підвідному лотку виконується заміна водозливу), розташованих у верхній частині відстійника де, відбувається осадження зважених речовин. Осадові жолоби представляють собою горизонтальні відстійники, а в нижній частині відстійника (септичній) збирається осад, що випав з осадового жолоби, де він піддається бродінню. Мулова вода, витісняється з септичною камери при випаданні свіжого осаду, проникає через щілини у осадові ринви і частково погіршується ефект освітлення стічних вод, зарахує літає осаду. Випуск зрілого осаду здійснюється 1 раз в 10 днів. Зрілий осад надходить на мулові майданчики, через насосну станцію осадів. Після повної реконструкції очисних споруд необхідно виконати: випуск зрілого осаду в резервуар осадів (ДП 16) після спорожнення резервуара (ДП 16) цикл в добу

роботи центрифуги 7 годин. Подачу надлишкового мулу в резервуар (ДП 16) на момент випуску зрілого осаду припинити.

Тривалість відстоювання стічних вод у відстійнику 1,5 години. Максимальна швидкість протікання води – 7мм/сек. Видалення осаду проводиться під гідростатичним тиском рівним 1,5 метра. Виконується заміна мулової труби Ду200 (ИЛсущ.).

Освітлена вода з жолобів переливається в збірний лоток, а потім надходить у відвідний (у відвідному лотку виконується заміна водозливу) і направляється на біологічну очистку (проектовані аеротенки та існуючі вторинні відстійники). По трубопроводу Ду400 механічно очищені стічні води (К14сущ. і К1.3 проєктований) подаються в проєктовані аеротенки (ДП 3).

В аеротенках встановлено:

1. Насос тип «мішалка в трубі»;
2. Система крупнопузирчатих аераторів.

Для біологічної очистки запроектована будівля повітродувною станції (ДП 12). Для подачі стисненого повітря до системи аерації. У завданні встановлено три повітродувки. Повітродувна станція категорії надійності відноситься до другої.

Мулова суміш (К1.4) Ду400 подається в існуючі вторинні вертикальні відстійники (ДП 7), що представляють собою круглі в плані Д 9метров резервуар з днищем у вигляді перекинутого усіченого конуса. Мулова суміш надходить у круглу центральну трубу, що закінчувалася розтрубом. Досягнувши відбивного щита, потік змінює напрямок з вертикального спадного на горизонтальне, а потім на вертикальне висхідний. Рухаючись рівномірно по живому перерізу робочої частини відстійника, освітлені стічні води переливаються через водозлив (заміна) у збірний лоток.

Тривалість відстоювання в відстійнику 1,5 години. Максимальна швидкість протікання води – 0,5 мм/сек.

Осад, що випав в мулову частину відстійника видаляється з мулової трубі Ду200 (заміна) у муловий колодезь. Видалення осаду з відстійника проводиться під гідростатичним тиском рівним 1,2 метра після аеротенків безперервно.

По самотічному трубопроводу активного мулу (К5.5) надходить в проєктовану резервуар мулової насосної (ДП 14). Мулова насосна призначена для подачі зворотного активного мулу в аеротенк і подачі надлишкового мулу на центрифуги. Для всіх типів осаду необхідно передбачати проміжну видаткову ємність (резервуар) згідно з п .10.7.1 ДБН .2.5-75: 2013. Час перебування надлишкового мулу в проміжній ємності (резервуар мулової насосної) не повинен перевищувати 24 години. Проєктом передбачено механічне зневоднення осаду на центрифугах. Центрифуги встановлені в проєктованому приміщенні механічного очищення та зневоднення осаду (по ДП 11). Для поліпшення водовідаючих властивостей і зменшення вологості кеку в якості реагентів слід використовувати органічні полімери п .10.7.10 ДБН .2.5-75: 2013. У будівлі встановлена установка для приготування розчину флокулянта MixLine 7300-0500 фірми «Alebro». Флокулянт подається гвинтових насосів фірми " NETZSCH NEMO® перед центрифугою у вузол дозування з зневоднюються осадом (надлишковим мулом) (К5.1Н).

З центрифуг зневоднений осад (кек) за розрахунком складає $1,37\text{м}^3/\text{добу}$, що становить при щільності зневодненого осаду $1\text{тонна}/\text{м}^3$ $1,37 \times 1000=1370\text{кг}$. Передбачено вивозити зневоднений осад 1 раз на 4 дні з допомогою трактора. Зневоднений осад збирається напівпричіп самоскидний НТС -5 вантажопідйомністю 6500кг.

Розділ 4. Водопостачання та каналізація

Справжній розділ розроблений на підставі технологічного завдання та наступних нормативних документів:

ДБН В.2.5-64:2012 - Внутрішній водопровід та каналізація;

ДБН В.2.5-74:2013 - Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди;

ДБН В.2.5-75:2013 – Каналізація. Зовнішні мережі та споруди.

Для майданчика очисних споруд передбачені наступні системи водопроводу та каналізації:

- система господарсько-питного водопроводу суміщена з системою протипожежного водопроводу;
- система гарячого водопостачання;
- система побутової каналізації.

Загальне розрахункове водоспоживання складає: 6,63 м³/добу (2420 м³/рік).

4.1. Господарсько-питний водопровід.

Система господарсько-питного водопроводу передбачена для забезпечення побутових по-треб працюючих та на виробничі потреби.

Джерелом господарсько-питного водопроводу служить існуюча кільцева мережа майданчику.

Норми витрат води на господарсько-питні потреби працюючих відповідно до діючих норм ДБН В.2.5-64:2012 прийняті в розмірі 25 л на добу. Витрата води на прийом душів прийнята 500 л на 1 душову сітку в зміну. Тривалість прийому душів - 45 хв після закінчення зміни. Витрата води на господарсько-питні потреби інженерно-технічних працівників прийнята у розмірі 16 л у добу.

На існуючому майданчику присутній існуючий побутовий корпус. В проєктованих будівлях встановлені санвузли, до яких виконано підведення господарсько-питного водопроводу.

Зовнішні мережі господарсько-питного водопроводу запроектовані із поліетиленових труб по ДСТУ Б В.2.7-151:2008 діаметром 32 - 125 мм.

Внутрішні мережі водопроводу запроектовані із поліпропіленових труб.

4.2 Гаряче водопостачання.

Система гарячого водопостачання передбачена для забезпечення санітарних приладів гарячою водою.

Приготування гарячої води здійснюється електричними водонагрівачами, розташованими в містах потреби гарячої води.

4.3 Протипожежне водопостачання.

Протипожежний водопровід призначений для подачі води на потреби зовнішнього пожежогасіння.

Існуючі та проєктовані будівлі відносяться до категорії Д, ступені вогнестійкості II, IIIа. Згідно з п.8.4 ДБН В 2.5.64-2012 внутрішній протипожежний водопровід в будівлях не передбачається.

Витрата води на зовнішнє пожежогасіння прийнята відповідно до п.6.2.4 та табл.5 ДБН В.2.5.74-2013 і становить 10 л/с.

Зовнішнє пожежогасіння здійснюється від пожежних гідрантів, розташовуваних на кільце-вій мережі протипожежного водопроводу. Розташування гідрантів на водопровідній мережі забезпечує пожежогасіння будівель від гідрантів, з врахуванням нормативної довжини прокладених рукавних ліній.

4.4 Побутова каналізація.

Система побутової каналізації передбачена для відводу побутових стоків від сантехнічних приладів.

Зовнішні мережі самопливної каналізації запроектовані з полівінілхлорідних труб виробництва Wavin діаметром 110 мм. Трубопроводи необхідно укласти на подушку товщиною не менше 10 см з піщаного ґрунту. Також необхідно виконувати ущільнення ґрунту з обох сторін укладених трубопроводів.

Внутрішні мережі каналізації запроектовані з полівінілхлорідних труб виробництва Wavin діаметром 50 - 100 мм.

Розділ 5. Результати наукових досліджень.

На теперішній час в м. Панютино (рис. 5.1) здійснюється реконструкція очисних споруд на станції аерації. Як відомо, на цих спорудах використовується біологічна очистка стічних вод. При реконструкції біореакторів необхідно визначити їх ефективність при різних режимах навантаження. Для підвищення ефективності очистки води в біореакторі пропонується використовувати аеротенк з рухомими носіями біоценозу. Для рішення цієї задачі була розроблена математична модель.

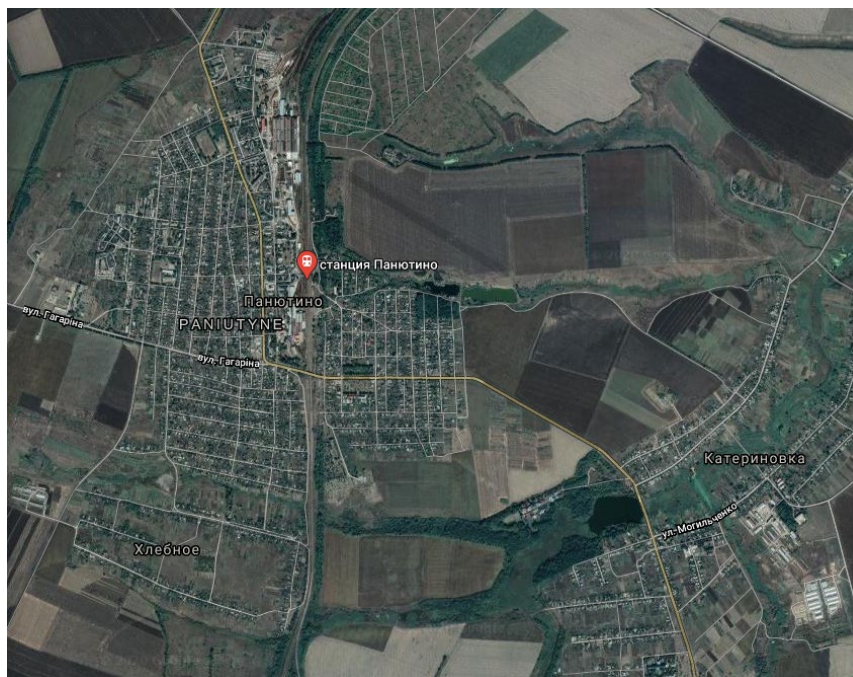


Рисунок 5.1 М. Панютино (Google Image 2020)

Так як процес біологічного очищення стічних вод в біореакторах є багатофакторним та дуже складним, то найбільш ефективним методом дослідження є метод чисельного моделювання. Цей метод дозволяє здійснювати теоретичне дослідження роботи біореактору з урахування багатьох факторів. Але, використання методу чисельного моделювання потребує значної кількості експериментальної інформації, що до вхідних параметрів (константи швидкість формування біоплівки, швидкість відриву біоплівки від носія та таке інше). Це є перешкодою до широкого використання багатофакторних чисельних моделей, так як існуючі експериментальні дані, що до тих або інших констант – є розрізнені, в деяких випадках - вони відсутні. Тому, для практики, важливо розробляти чисельні моделі, що можуть використовувати існуючу базу експериментальних параметрів, які визначають процес біологічної деструкції субстрату.

Процес біологічної деструкції в реакторах з рухомим біоценозом має місце як на носіях, так і в інших частинах реактору, де є активний мул.

Біологічна плівка формується на спеціальному завантаженні–носіях (carriers), що розташовуються всередині очисної споруди. Вигляд цього завантаження може бути різноманітним .

На поверхні рухомих носіїв формується біоплівка де має місце «деструкція» субстрату. Товщина біоплівки може бути різною, порядку 150 – 350 мм.

Колонії мікроорганізмів в біоплівці дуже різноманітні – це є додатковим фактором збільшення ефективності очистки стічних вод за допомогою рухомих носіїв, поряд з фактором збільшення площі контакту стічних вод з біоплівкою.

Розглянемо побудову математичних моделей для розрахунку процесу біологічного очищення стічних вод в біореакторі з рухомим завантаженням. На рис. 5.2, схематично, показана область моделювання.

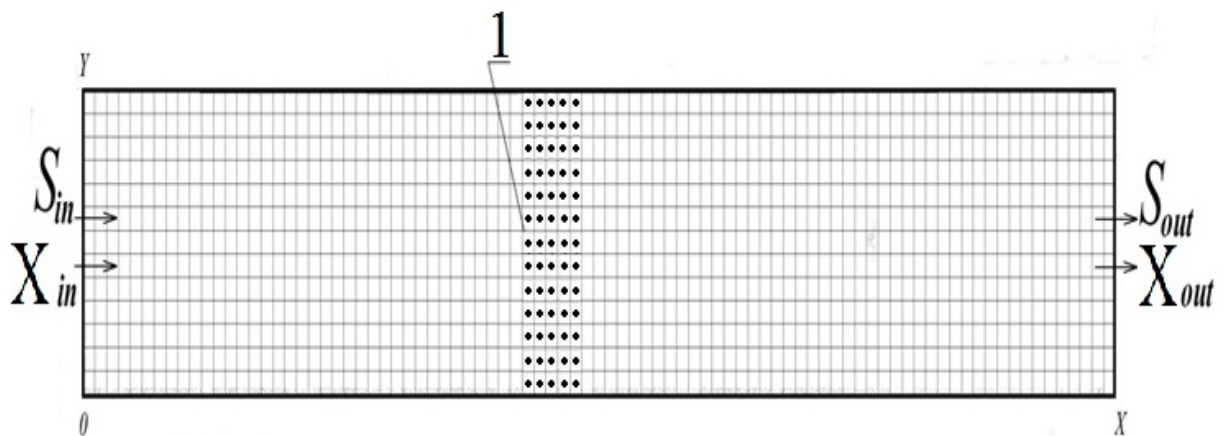


Рисунок 5.2 Схеми розрахункової області:

1 – область, де розташовані рухомі біоценози

На рис. 5.2 показані дві зони в біореакторі: зона, де є рухомі носії, та зона – де їх немає. Також відзначимо, що моделі, які пропонуються дозволяють проводити дослідження процесу біологічної очистки води в спорудах з будь-якою геометричною формою (наприклад, такої, що схематично показано на рис. 5.3).

Підкреслимо, що тут ми розглядаємо модель, коли враховується рух, в реакторі, субстрату, активного мулу, але самі носії – не рухаються. Вони розташовані в окремій зоні, де має місце активна деструкція субстрату.

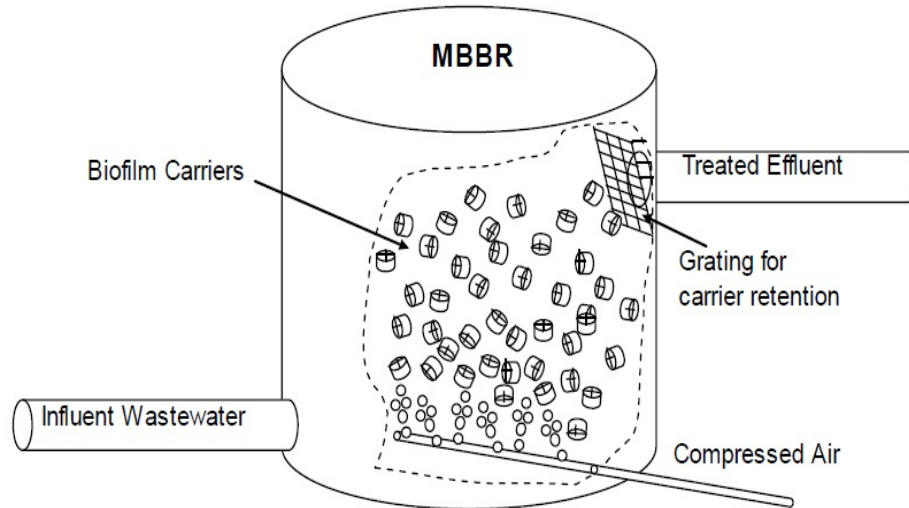


Рисунок 5.3 - Схема роботи біореактору з рухомим завантаженням

Пропонуються дві моделі для оцінки ефективності роботи біологічного реактору, де використовуються рухоми носії біоценозу.

Перша модель. Моделюючи рівняння запропанованої моделі можна поділити на такі групи:

1. група: рівняння для розрахунку біологічного очищення стічних вод в той частині споруди де нема рухомого біоценозу. В цієї області використовуються такі моделюючі рівняння

$$\frac{\partial X}{\partial t} + \frac{\partial uX}{\partial x} + \frac{\partial vX}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial X}{\partial y} \right) + \dots \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) \quad (5.2)$$

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - K_d X \quad (5.3)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\mu}{Y} X \quad (5.4)$$

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{S + K_s}$$

2. група: рівняння для розрахунку біологічного очищення води в той частині споруди де є рухомий біоценоз.

Розрахунок процесу деструкції субстрату в зоні, де розташовані рухомі носії, здійснюється в два етапа. По-перше, на базі моделі Harremoos, визначається параметр r

$$r = k_a \cdot (S)^n \quad (5.6)$$

де S - концентрація субстрату, г/м³ ; параметр k_a - визначається експериментально (наприклад, $n=0.57$).

По – друге, розраховується швидкість використання субстрату r_r [г/(м³год)] в біоплівці на базі емпіричної моделі

$$r_r = r \cdot w, \quad (5.7)$$

де w – активна площа поверхні носіїв.

На базі розглянутої моделі створена комп'ютерна програма “Біореактор”. Ця програма використовувалася для теоретичного дослідження ефективності роботи біореактору.

Нижче приведені результати рішення задачі по оцінці ефективності роботи біологічного реактору з рухомими носіями біоценозу на базі

побудованої динамічної моделі. Розрахунки виконувалися при наступних вхідних даних:

$S_{in} = 150$ мг/л- концентрація субстрату (БПК_{пов}), що потрапляє в споруду;

$X_{in} = 1200$ мг/л- концентрація активного мулу, що потрапляє в споруду;

розміри біореактору 18м*5м*5м;

$Q_s(t) = 4726$ м³/діб – витрата стічних вод;

$\mu_x = \mu_y = 3 \cdot 10^{-4}$ м²/діб.

$X_{in} = 1200$ мг/л - концентрація активного мулу, що потрапляє в реактор.

$\mu_{max} = 1.04$ - параметр.

$K_s = 100$ мг/л - параметр

$K_d = 0.055$ 1/діб – коефіцієнт, що враховує загибель мікрорганізмів.

$Y = 0.55$ - параметр.

- активна площа поверхні носіїв 400м²/м³.

Початкова умова: $S_{in} = 150$ мг/л, $X_{in} = 1200$ мг/л, - концентрація субстрату та активного мулу в реакторі для моменту часу $t=0$.

Розглядалися такі модельні сценарії:

- Сценарій №1: реактор працює без рухомих носіїв біоценозу, тобто – це класичний аеротенк, куди потрапляє активний мул та субстрат.

- Сценарій №2: в реакторі є невелика зона, де є рухомі носії біоценозу; ця зона не перекриває весь реактор по ширині (рис. 5.4, зона, де є носії біоценозу показана числом «2»). Цей сценарій моделює використання в частині реактору блоків з рухомими носіями, які показано на рис. 5.4.

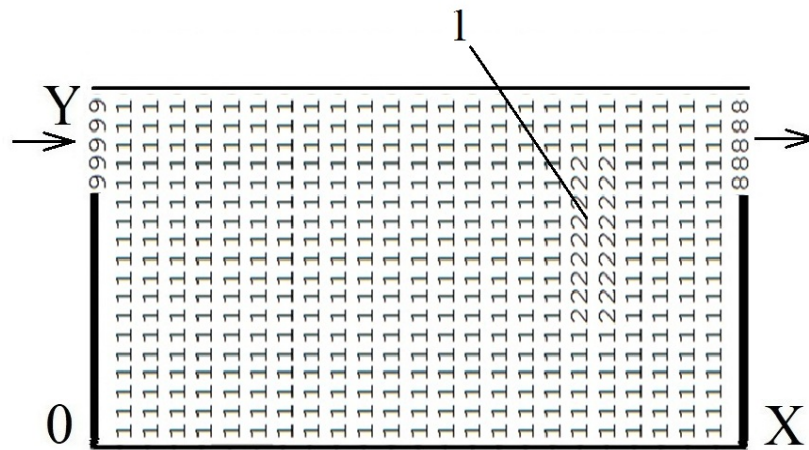


Рисунок 5.4 Схема розрахункової області:

1 – зона, де розташовані рухоми носії біоценозу (сценарій №2)

- Сценарій №3: в реакторі є вузька зона, де є рухомі носії біоценозу; ця зона перекриває весь реактор по ширині, площа зони 8 % від площі реактору (рис. 5.5, зона, де є носії біоценозу показана числом «2»).

-

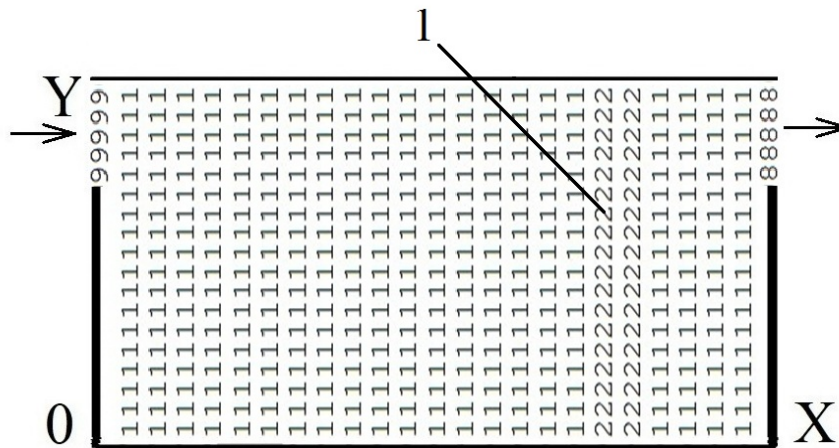


Рисунок 5.5 Схема розрахункової області:

1 – зона, де розташовані блоки з рухомими носіями біоценозу (сценарій №3)

- Сценарій №4: в реакторі є вузька зона, де є рухомі носії біоценозу; ця зона перекриває весь реактор по ширині, площа зони 25% від площі реактору (рис. 5.6, зона, де є носії біоценозу показана числом «2»).

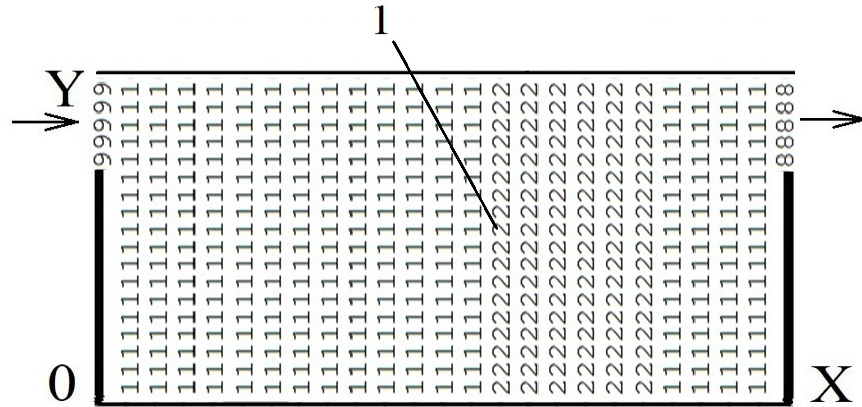


Рисунок 5.6 Схема розрахункової області:

1 – зона, де розташовані блоки з рухомими носіями біоценозу (сценарій №4)

Нижче, на рисунках показано розподіл концентрації субстрату в реакторі ($t=0.34$ год) для усіх сценаріїв. Концентрація є осередненою по ширині реактору. Кожне число на приведених рисунках показує концентрацію субстрату у відсотках від максимальної концентрації (це концентрація на вході в реактор $S_{in} = 150$ мг/л).

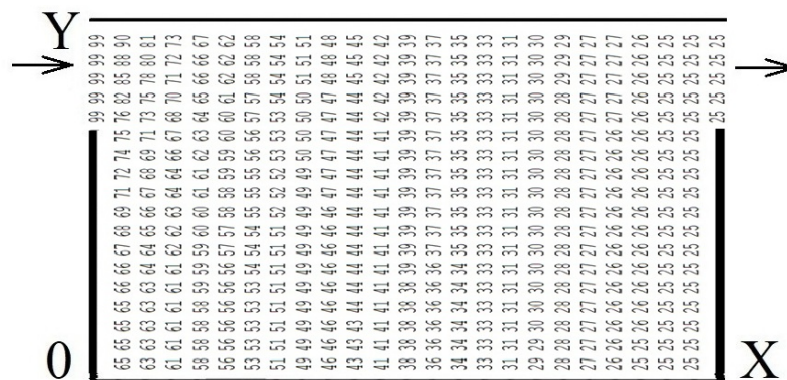


Рисунок 5.7 - Розподіл концентрації субстрату в біореакторі (сценарій № 1, нема рухомих носії біоценозу)

Рисунок 5.10 Розподіл концентрації субстрату в біореакторі
(сценарій № 4, є рухомі носії біоценозу)

Як ми бачимо з наведених рисунків – там де є блоки з рухомими носіями біоценозу, та значно швидше проходить процес окислення субстрату. Наприклад, якщо розглядати перший сценарій (нема рухомих носіїв біоценозу) та сценарій №4, в зоні, приблизно на 1/3 від правої стінки споруди, концентрація субстрату дорівнює 34% від концентрації на вході в біореактор, а для сценарія № 4 – концентрація субстрату тут дорівнює приблизно 17% від концентрації на вході в біореактор. Таким чином, блоки з рухомими носіями біоценозу підвищують ефективність очистки стічних вод.

Висновки

1. Розглянуто реконструкцію очисних споруд в м. Панютино.
2. Створена математична модель оцінювання ефективності роботи біореактору з рухомим біоценозом.
3. На основі спеціалізованої математичної моделі проведений обчислювальний експеримент по визначенню ефективності очистки води в біореакторі з рухомим біоценозом.
4. Результати обчислювального експерименту показали, що використання рухомого біоценозу дозволяє збільшити ефективність очистки стічних вод в біореакторі.

Список використаних джерел

1. Водовідведення і очищення стічних вод міста. Навчальний посібник / [С.М. Епоян, Г.М. Смірнова, І.В. Корінько, С.П. Пашкова, В.Ю. Сорокіна, Г. Вевелер]. – Харків: Видавнича група «РА Каравела», 2003. – 144 с.
2. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов / [С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, В.И. Калищун]. – М.: Стройиздат, 1996. — 591 с.
3. Водопостачання та очистка природних вод. Навчальний посібник / С.М. Епоян, В.Д. Колотило, О.Г. Друшляк, Г.І. Сухоруков, Т.С. Айрапетян. – Х.: Фактор, 2010. – 192 с.
4. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебное пособие / Ю.В. Воронов. - М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2009. – 760 с.
5. Горносталь С.А., Петухова Е.А., Уваров Ю.В. Повышение эффективности работы сооружений биологической очистки городских сточных вод.: Монография, Х.: НУГЗУ, 2015, 102с.
6. Гуревич, М. И. Теория струй идеальной жидкости / М.И. Гуревич. – М.: Наука, 1979. – 536 с.
7. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування / К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2013. – 128 с.
8. Душкин, С.С. Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий подготовки экологически чистой питьевой воды / С.С. Душкин, Г.И. Благодарная. – Харьков: ХНАГХ, 2009. – 95 с.
9. Епоян, С.М. До розрахунку горизонтального відстійника з пористою полімербетонною перегородкою систем господарсько-питного

водопостачання / С.М. Епоян, Д.Г. Сухоруков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2012. – Вип. 68. – С. 244-248.

10. Епоян, С.М. Особливості роботи пористої полімербетонної перегородки водопровідного горизонтального відстійника і її регенерація / С.М. Епоян, Д.Г. Сухоруков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2012. – Вип. 69. – С. 327-331.

11. Закон України «Про Загальнодержавну цільову програму «Питна вода України» на 2006-2020 роки»: офіц. текст прийнятий Верх. Радою України 3 березня 2005 р.: із змінами та доп. станом на 13 листопада 2011 р. / Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. – Режим доступу к информации: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2455-15/paran15#n15> 9.

12. Канализация / С.В. Яковлев, Я.Л. Карелии, А.И. Жуков, С.К. Колобанов. – [5-е изд., перераб, и доп.]. – М.: Стройиздат, 1975. – 632 с.

13. Карагяур, А.С. Дослідження впливу конструктивних параметрів контактної камери на ефективність перемішування озону з водою / А.С. Карагяур // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2008. – Вип. 47. – С. 241-244.

14. Карагяур, А.С. Тонкослойный отстойник с усовершенствованными устройствами подвода-отвода воды / А.С. Карагяур, А.А. Сыроватский, С.П. Бабенко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 65. – С. 349-353.

15. Карелин Я.А., Жуков Д.Д., Журов В.Н., Репин Б.Н. Очистка производственныхсточных вод в аеротенках. М., Стройиздат, 1973, 223с.

16. Кичигин, В.И. Моделирование процессов очистки воды / В.И. Кичигин. Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 230 с.

17. Ковальчук, В.А. Очистка стічних вод / Ковальчук В.А. Навчальний посібник. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. – 622 с.

18. Козачек А.В., Авдашин И.М., Лузгачев В.А. Исследование математической модели процесса аэробной очисткисточних вод как стадия

оценки качества окружающей среды // Вестник ТГУ, т.19, вып.5, 2014. С.1683 – 1685.

19. Козачина, В.А. Моделирование процесса массопреноса в отстойнике при импульсной подаче примеси / В.А. Козачина // Науковий вісник будівництва. – ХНУБА, 2015. – №1 (79) – С. 162-165.

20. Колесник В.П., Вильсон В.Е. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях. Ростов – на – Дону, Изд-во «Юг», 2005. 212с.

21. Корінько, І.В. Інноваційні технології водопідготовки / І.В. Корінько, Ю.О. Панасенко. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 208 с.

22. Логачев, И. Н. Аэродинамические основы аспирации / И.Н. Логачев, К. И. Логачев – Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. – 659 с.

23. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений. / М.: Высшая школа, 1981. -237с.

24. Лемеш М.В., Біляєв М.М., Татарко Л.Г., Якубовська З.М. Моделювання процесу очищення стічних вод на базі камерних моделей// Наука та прогрес транспорту. – 2020. – № 3 (87). – С. 16–24.

25. Лемеш М.В., Козачина В.А., Гончаров В.В., Поляков А.А., Рекунович А.С. Повышение эффективности очистки сточных вод – как инструмент защиты водоемов от загрязнения // Науковий симпозіум «Тиждень еколога -2019», 7 -10 жовтня, 2019, Кам'янське, ДДТУ. – С.110 - 111с

26. [Лойцянский, Л.Г.](#) Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1978. – 736 с.

27. Метод численного решения уравнений течения вязкой жидкости в переменных скорость-давление / Е.В. Бруязцкий, А.Г. Костин, Е.И. Никифорович, Н.В. Розумнюк // Прикладна гідромеханіка. Науковий журнал. – К.: Інститут гідромеханіки НАН України, 2008 – Т. 10, № 2 – С. 13-23.

28. Методика инженерного расчета вторичных вертикальных отстойников / [А. Я. Олейник, С. К. Киселев, В. Ф. Малько, О. Н. Ягодковская] // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки. Науково-технічний збірник. – К.:КНУБА, 2006. – №7. – С. 65-82.

29. Олейник, А. Я. Расчеты аэротенка-смесителя вместе с вертикальным вторичным отстойником / А.Я. Олейник, О.М. Ягодковская, Г.С. Маслун// Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки. Науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 2009. – №13. – С. 49-62.

30. Олійник О.Я., Айрапетян Т.С. Теорія і розрахунки біологічної очистки стічних вод в аэротенках з іммобілізованим (вільноплаваючим) і закріпленим надодатковими пристроями біоценозом / Прикладна гідромеханіка. 2015. Том 17, № 3. С. 35 – 43

31. Олійник, О.Я. Особливості моделювання очистки стічних вод у системі аэротенк-відстійник-регенератор / О. Я. Олійник, С. В. Зябліков // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки. Науково-технічний збірник. – К.:КНУБА, 2006. – №7. – С. 65-82.

32. Олійник О.Я., Колпакова О. А. Моделювання і розрахунки біологічної очистки стічних вод на краплинних біофільтрах // [Екологічна безпека та природокористування](#). - 2014. - Вип. 16. - С. 68-86.

33. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды [монографія] / [С.М. Эпоян, Г.И. Благодарная, С.С. Душкин, В.А. Сташук]. – Харьков: ХНАГХ, 2013. – 190 с.

34. Поляков, В.Л. Моделирование биофильтрации воды с ограниченным содержанием органического субстрата. Биореактор-фильтр / В.Л. Поляков // Доповіді НАН України. Науково-теоретичний журнал Президії Національної академії наук України. – К.: НАН України, 2011. – № 7. – С. 58-66.

35. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения / [А.А. Василенко, П.А. Грабовский, Г.М. Ларкин и др.]. – Киев - Одесса: КНУСА, ОГАСА, 2007. – 307 с.

36. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – М.: Мир, 1980. –616 с.
37. СаблійЛ. А.
Моделювання процесів очищення стічних вод в біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Випуск 4(56), 2011. с. 83 -90.
38. Самарский, А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
39. Сафоник А. П., Клепач М. І., Таргоній І. М. Дослідження та автоматизація реакторів біологічного очищення стоків при контролі концентрації кисню / Радіоелектроніка, інформатика, управління, 2017. № 3. С.192 – 197.
40. Сафоник А.П., І.М. І.М.Таргоній, П.О. Лакус Моделювання та дослідження процесу біологічної очистки води з урахуванням температурного режиму // ВІСНИК ЖДТУ. 2019. № 1 (83), с.115 -125.
41. Современные технологии очистки воды / [В.В. Гончарук, Д.Д. Кучерук, А.О. Самсоны-Тодоров, В.Ф. Скубченко] // Наука та інновації, 2006. – Т. 2, № 5. – С. 66-77.
42. Степова, Н.Г. Апробація одновимірної математичної моделі, що описує процеси у вторинному відстійнику вертикального типу / Н.Г. Степова // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Науково-технічний збірник – К.: КНУБА, 2009. – №13. – С. 81-90.
43. Таварткиладзе, И.М. Математическая модель расчета ветрикальных отстойников с перегородкой / И.М. Таварткиладзе, А.М. Кравчук, О.М. Нечипор // Водоснабжение и санитарная техника. – М., 2006. - №1, ч.2. – С. 39-42.
44. Теоретические основы очистки воды / [Н.И. Куликов, А.Я. Найманов, Н.П. Омельченко, В.Н. Чернышев]. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. – 298 с.

45. Тугай, А.М. Водопостачання / А.М. Тугай, В.О. Орлов. – К.: Знання, 2009. – 735 с.
46. Тугай, А.М. Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання / А.М. Тугай, В.О. Терновцев, Я.А. Тугай. – К.: КНУБА, 2001. – 254 с.
47. Фізико-хімічні та біологічні методи очистки стічних вод / С.М. Епоян, Р.І. Назарова, Л.П. Снагощенко, Ю.М. Данченко, В.А. Андронов, Т.М. Обіженко. Навчальний посібник. – Харків: Вид. «Міськдрук», 2012. – 452 с.
48. Хоружий, П.Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П.Д. Хоружий, Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. – К.: Аграрна наука, 2008. – 534 с.
49. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / [М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н.Н. Беляев]. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
50. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг; пер. с нем. Г.А. Вольперт; ред. пер. с нем. Л. Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1974. – 711 с.
51. Эпоян, С.М. Моделирование движения суспензии в тонкослойном элементе усовершенствованной конструкции / С.М. Эпоян, А.А. Сыроватский, С.П. Бабенко // MOTROL. Comission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2013. – Volume 15, №6. – P.43-50.
52. Эпоян, С.М. Технологические схемы очистки воды, условия их применения / С.М. Эпоян, С.С. Душкин // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2012. – Вип. 69. – С. 327-331.
53. Эпоян, С.М. Тонкослойные отстойники усовершенствованной конструкции для очистки поверхностно-ливневого стока / С.М. Эпоян, А.А. Сыроватский, С.П. Бабенко // Сучасні проблеми охорони довкілля та раціонального використання ресурсів у водному господарстві: міжнар. наук.-

практ. конф., 2-6 квітня 2012 р. м. Миргород: тези за матеріалами. – К.: Знання України, 2012. – С. 51- 53.

54. AlmaMašić, JessicaBengtsson, MagnusChristensson. Measuringandmodelingtheoxygenprofilein a nitrifyingMovingBedBiofilmReactor// MathematicalBiosciences 227 (2010) . p.1–11.

55. Alqahtani, RubayyiTurki. Modeling of biological wastewater treatment, Doctor of Philosophy Thesis, School of Mathematics and Applied Statics, University of Wollongong, 2013,329p.

56. Anna MontrasBoet. Mathematical modeling and molecular analysis of nitrifying packed bed biofilm reactor / PhD Thesis, UniversitatAutonoma de Barcelona, Barcelona, 2009.p. 231.

57. Application and Kinetic Evaluation of upflow Anaerobic biofilm Reactor for Nitrogen Removal from Wastewater / Ali Babaei, et al, Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2013, 10:20, p.8.

58. Bayram T.T., Nuhoglu A., Aladag E. Investigation of biodegradation and growth kinetics of dairy wastewater in a batch reactor // Bulgarian Chemical Communications V.49, №4, 2017, p. 896 -900.

59. Biliaiev, M.M. CFD modelling of the water treatment in the horizontal settler / Biliaiev M.M., Kozachyna V.A. // Вісник Дніпропетровського національного університету. Серія Механіка – Д. : ДНУ, 2014. – Випуск 18. – С. 146-151.