

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 Очистка стічних вод багатofункціонального комплексу «Олімпія»
у м. Павлоград

Керівник магістерської роботи доц. Гунько О.Ю.

Студент Горохов Олексій Ігорович

Дніпро
2020 р.

Зміст

Вступ

Особливості каналізації та очисних споруд для торгових центрів і комплексів

1. Загальна частина
2. Основні рішення
3. Існуючий стан
4. Розрахунок пропускної здатності трубопроводу, що підводить.
5. Розрахунок пропускної здатності напірного трубопроводу.
6. Визначення розрахункового напору насосів

Розділ економічного обґрунтування вартості

Висновки

Список використаних джерел

АНОТАЦІЯ

Розвиток бізнесової діяльності потребує нових поглядів на створення концепції торгівельно - розважальних зон. Сучасні компанії потребують зручних та комфортних умов для плідної праці своїх робітників. Тому зростає потреба з застосуванням КНС у масштабах глобалізації сучасного простору.

Сучасні каналізаційні системи і очисні споруди для торгових комплексів повинні справлятися з непростим завданням збору і утилізації господарсько-побутових, фекальних та зливових стоків. Справа в тому, що на такого роду об'єктах утворюються всі ці різновиди стічних вод, і, згідно з чинним на сьогоднішній день санітарним нормам і правилам, всі вони повинні відводитися в навколишнє середовище, будучи очищеними належним чином.

Мета роботи – реконструкція КНС для підвищення пропускної спроможності перекачки побутових стоків від багатофункціонального комплексу «Олімпія» та котежного селища.

Об'єкт дослідження – каналізаційна насосна станція

Предмет дослідження – пропускна здатність КНС.

Методи дослідження – обчислювальний експеримент.

Практичне значення - виконано підбір насосного обладнання з урахуванням пропускної здатності КНС, проведено розрахунок трубопроводу, що підводиться, та розрахунок пропускної здатності напірного трубопроводу.

Наукова новизна – приймаються наступні параметри насосного обладнання для КНС: $Q = 32,53 \text{ л / с}$ ($117,09 \text{ м}^3 / \text{ч}$) $H = 47,0 \text{ м}$. Труба ПЕ 100 SDR 17 Д. 160 мм 1 гілка і Труба ПЕ 100 SDR 17 Д. 110 мм 2 гілки (резерв) при цьому К нерівномірності 2.

Ключові слова – КНС, насосне обладнання, тиск, напірні трубопроводи, забруднення річок, обчислювальний експеримент.

ABSTRACT

The development of business activity requires new views on the creation of the concept of shopping and entertainment areas. Modern companies need convenient and comfortable conditions for productive work of their employees. Therefore, there is a growing need for the use of KNS in the scale of globalization of modern space.

Modern sewage systems and treatment facilities for shopping malls must cope with the difficult task of collecting and disposing of domestic, fecal and stormwater. The fact is that all these types of wastewater are formed at such facilities, and, in accordance with current sanitary norms and rules, they must all be discharged into the environment, being properly treated.

The purpose of the work is the reconstruction of the KNS to increase the capacity of domestic wastewater from the multifunctional complex "Olympia" and the cottage village.

The object of study is a sewage pumping station

The subject of research - the capacity of the CNS.

Research methods - computational experiment.

Practical significance - the selection of pumping equipment taking into account the capacity of the CNS, the calculation of the supplied pipeline and the calculation of the capacity of the pressure pipeline.

Scientific novelty - the following parameters of the pumping equipment for KNS are accepted: $Q = 32,53 \text{ l / s}$ ($117,09 \text{ m}^3 / \text{h}$) $H = 47,0 \text{ m}$. Pipe PE 100 SDR 17 D. 160 mm 1 branch and Pipe PE 100 SDR 17 D. 110 mm 2 branches (reserve) with K unevenness 2.

Key words - CNS, pumping equipment, pressure, pressure pipelines, river pollution, computational experiment.

Вступ

До сучасних торгових центрів, комплексів і гіпермаркетів пред'являється чимало вимог, одним з яких є те, що утворенні в них стічні води повинні в обов'язковому порядку каналізуватися, проходити відповідну очистку і відводитися. У тих випадках, коли ці об'єкти споруджуються в тих районах міст, де вже створена і функціонує відповідна інфраструктура, то найчастіше стоки прямують в централізовану каналізаційну систему.

Однак в останні роки торговельні комплекси зводяться або в тих нових мікрорайонах, де таких просто ще немає, або взагалі за межами міста, поблизу від великих транспортних магістралей. У таких випадках відведення та очищення стоків повинні проводитися за допомогою локальних автономних систем.

Розділ 1 Відомості про багатофункціональний комплекс «Олімпія»

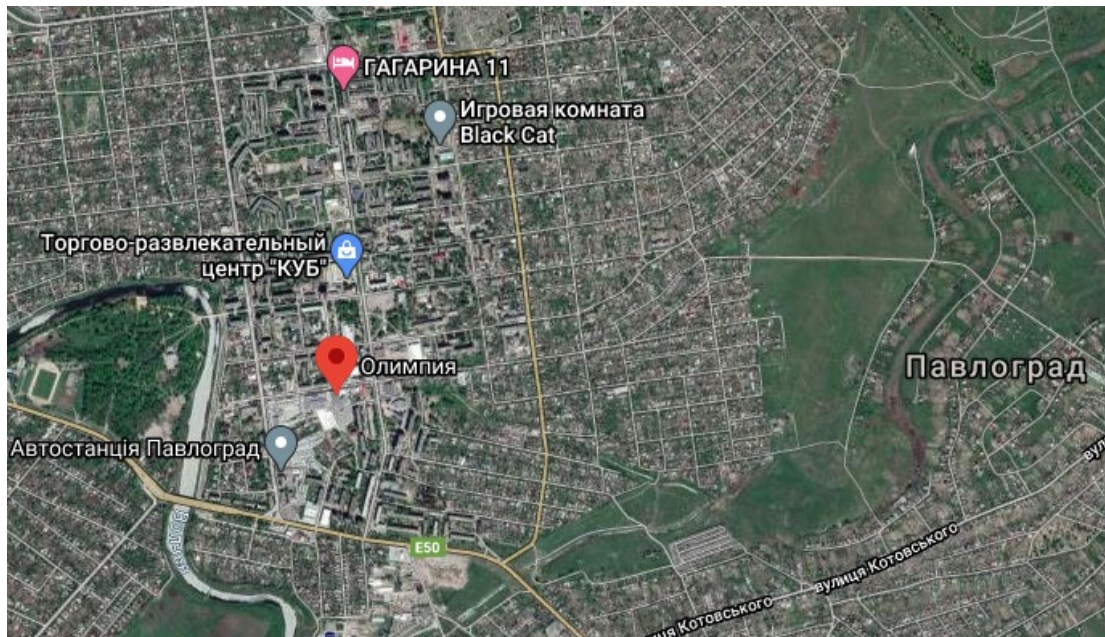


Рисунок 1.1 Положення багатофункціонального комплексу «Олімпія»
(Google image 2020)

Комплекс знаходиться за адресою м. Павлоград, вул.Горького 166



Рисунок 1.2 Багатофункціональний комплекс «Олімпія»

Найбільший в регіоні торговий комплекс «Олімпія». Заснований в 2004 році, в результаті повної реконструкції виробничих приміщень розташованих в центральній частині м Павлограда, Дніпропетровської області.

Комплекс розташований в центрі торговельної частини міста і привабливий для всього Павлоградського району.

На сьогоднішній день, ТК «Олімпія» налічує понад 150 діючих орендарів, включаючи:

"СІЛЬПО", "COLIN'S" "АЛЛО", КОМФИ ", " ЗОЛОТИЙ ВІК ", 925 проба," ПРОСТІР ", " ЛІДЕР ВЗУТТЯ "" НОВА ПОШТА "" К-Маркет "та ін.

Візуальна доступність - відмінна.

У 200 метрах від комплексу, знаходяться зупинки 17-ти міських маршрутів громадського транспорту.

Розділ 2

Особливості каналізації та очисних споруд для торгових центрів і комплексів

Сучасні каналізаційні системи і очисні споруди для торгових комплексів повинні справлятися з непростим завданням збору і утилізації господарсько-побутових, фекальних та зливових стоків. Справа в тому, що на такого роду об'єктах утворюються всі ці різновиди стічних вод, і, згідно з чинним на сьогоднішній день санітарним нормам і правилам, всі вони повинні відводитися в навколишнє середовище, будучи очищеними належним чином.

Слід зауважити, що практично кожен сучасний торговий комплекс, центр або гіпермаркет зараз будується не по типовому, а за індивідуальним проектом, і тому підхід до проектування, монтажу і експлуатації його каналізаційних і очисних споруд має бути індивідуальним.

Основними джерелами забруднення поверхневих вод і засмічення водоймищ є недостатньо очищені стічні води промислових і комунальних підприємств, крупних тваринницьких комплексів, відходи виробництва при розробці рудних копалин; води шахт, рудників, обробці і сплаві лісоматеріалів; скидання водного і залізничного транспорту; відходи первинної обробки льону, пестициди і т.ін. Забруднюючі речовини, потрапляючи в природні водоймища, призводять до якісних змін води, які, в основному, виявляються в зміні фізичних властивостей води (зокрема, поява неприємних запахів, присмаків і т.ін.), у зміні хімічного складу води (зокрема, поява в ній шкідливих речовин), в наявності плаваючих речовин на поверхні води і відкладанні їх на дні водоймищ.

Але, значну загрозу забрудненню поверхневих вод створюють аварійні скиди стічних вод з КНС. У випадку таких аварійних скидів забруднених вод має місце потрапляння значної кількості різноманітних домішок в поверхневі води. Це створює велику загрозу питному водопостачанню.

2.1 Загальна частина

Розрахунок пропускної здатності існуючої мережі каналізації, продуктивності КНС №1, розташованих на ділянці за адресою: Дніпропетровська область, місто Павлоград, вул. Горького, 66 виконаний на підставі наступних вихідних даних:

- завдання на проектування;
- паспорт існуючої КНС №1;
- ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди;
- ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди.

2.2. Основні рішення

Справжній розрахунок виконаний для визначення пропускної здатності існуючої мережі самопливної каналізації, каналізаційної напірної станції КНС №1, існуючої напірної каналізації від КНС, розташованих в комплексі «Олімпія», в зв'язку зі збільшенням обсягів господарсько-побутової каналізації, з урахуванням проекрованої забудови. Витрати на водовідведення господарсько-побутової каналізації від існуючої і проекрованої забудови вказані в Таблиці 1

Таблиця 1

Витрати на водовідведення господарсько-побутової каналізації

№ п/п	Найменування	Витрата		
		Q _с , л/с	Q _{год} , м ³ /ГОД	Q _{доб} , м ³ /добу
1	Багатофункціональний спортивно-житловий комплекс (1-3 черги будівництва)	4,78+1,6	17,23 □	413,44
2	Середньо-поверхова забудова на ділянці 3,3га з центром дитячого розвитку і	1,03+1,6	3,70	88,87

	творчості			
3	Житловий комплекс на ділянці площею 3,2га	1,45+1,6	5,23	125,604
4	Мікрорайон Планерна, загальною площею 5,5га	6,93+1,6	24,94	598,589
5	Басейн і ресторан	1,16+1,6	4,16	100,00
6	Котедже селище	1,16+1,6	4,16	100,00
	ВСЬОГО:	16,51	59,43	1426,503

Розрахункові добові витрати стічних вод слід визначати як добуток середньодобового (за рік) витрати на коефіцієнти добової нерівномірності, прийняті відповідно до ДБН В.2.5-74:2013:

$$Q_{\text{доб.мах}} = K_{\text{доб.мах}} \times Q_{\text{доб.мах}}$$

$$Q_{\text{доб.мін}} = K_{\text{доб.мін}} \times Q_{\text{доб.мін}}$$

Коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання, що враховує уклад життя населення, режим роботи підприємств, ступінь благоустрою будівель, зміни водоспоживання по сезонах року і дням тижня приймається рівним:

$$K_{\text{доб.мах}}=1,1-1,3; \quad K_{\text{доб.мін}}=0,7-0,9$$

$$Q_{\text{доб.мах}}= 1,2 * 1426,503 = 1711,8 \text{ м}^3/\text{доб}$$

$$Q_{\text{доб.мін}}= 0,8 * 1426,503 = 1141,202 \text{ м}^3/\text{доб}$$

Коефіцієнти нерівномірності водовідведення визначаються по табл.1 ДБН В.2.5-75:2013, в залежності від середньо секундного витрати методом інтерполяції:

$$Q_{\text{ср.сут}}=1426,503 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$Q_{\text{ср.час}}= 59,44 \text{ м}^3/\text{час};$$

$$q_{\text{сек}}=32,53 \text{ л/с}$$

$$K_{\text{час.мах}}=1,97$$

$$K_{\text{час.мін}}=0,486$$

$$Q_{\text{час.max}} = (1426,503 * 1,97) / 24 = 117,09 \text{ м}^3 / \text{ час} = 32,53 \text{ л/с}$$

$$Q_{\text{час.min}} = (1426,503 * 0,486) / 24 = 28,89 \text{ м}^3 / \text{ час} = 8,03 \text{ л/с}$$

2.3 Існуючий стан

З території існуючої забудови (Багатофункціонального комплексу (1-3 черги будівництва), від басейну і ресторану, а також котежного селища) господарсько-побутова каналізація зливається, через підвідний сталевий трубопровід $\varnothing 273 \times 5,0 \text{ мм}$, в КНС №1. Потім з КНС, через напірний трубопровід $2\varnothing 110 \times 6,0 \text{ мм}$ з поліетиленових труб, перекачується на відстань 904,1 м в існуючий колодязь самопливної каналізації.

Геодезичний перепад становить 35,0 м.

Існуючий витрата господарсько-побутових стічних вод становить 613,44 м³ / добу.

Характеристика існуючої КНС №1 - діаметр - 3,0 м

- глибина - -6,90 м

- продуктивність КНС - 20,6 м³ / год

- корпус - сталь з антикорозійним покриттям

- підвідний трубопровід - $\varnothing 273 \times 5,0 \text{ мм}$ сталь

- напірний трубопровід - $2\varnothing 110 \times 6,0 \text{ мм}$ пе

- тип насоса - Grundfos SV.80.80.150.2.54H.S.220.G.N.D.511

- кількість - 2 шт (1 робочий, 1 резервний)

- напір max - 50,0 м

- продуктивність max - 40,0 л / с

- потужність двигуна - 15,0 кВт

- керування роботою насосів - поплавкові вимикачі.

Розділ 3

Розрахунки каналізаційної мережі багатофункціонального комплексу «Олімпія»

3.1 Розрахунок пропускної здатності трубопроводу, що підводить.

Згідно ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди, споруди каналізації повинні бути розраховані на пропуск сумарного розрахункового максимального витрати.

Перевірочний розрахунок самопливних трубопроводів і каналів поперечним перерізом будь-якої форми на пропуск збільшеного витрати повинен здійснюватися при наповненні 0,95 висоти. Основною вимогою при проектуванні самопливних колекторів є пропуск розрахункових витрат при самоочисних швидкостях руху транспортуються стічні води.

Розрахунок пропускної здатності трубопроводу, що підводить в КНС виконаний з використанням «Таблиць гідравлічного розрахунку каналізаційних мереж і дюкерів за формулою акад. Павловського» під редакцією А.А.Лукіних, Н.А.Лукіних.

Згідно Таблиці 7 стор.31 вищевказаного документа, при ухилі підвідного трубопроводу діаметром $D_u = 250\text{мм}$, рівним $i = 0,005$, пропускна здатність при наповненні 0,8d і швидкості руху рідини $V = 0,92\text{м / с}$ становить 38,6л / с.

З огляду на те, що загальний секундний витрата всієї забудови, з урахуванням проекрованої, становить 32,53 л / с, робимо висновок про те, що існуючий підвідний трубопровід забезпечує плановану загальну навантаження по каналізування.

3.2 Розрахунок пропускної здатності напірного трубопроводу.

Гідравлічний розрахунок напірних каналізаційних трубопроводів слід виробляти згідно ДБН В.2.5-74:2013. Розрахунок пропускної здатності напірного трубопроводу з КНС виконаний з використанням «Таблиць

гідравлічного розрахунку водопровідних труб» під редакцією Ф.А.Шевелева, А.Ф.Шевелева, заснованих на вищевказаних розрахунках.

Подача насосу складає $Q = 117,09 \text{ м}^3/\text{час} = 32,5 \text{ л/с}$

Витрата, яка проходить по кожному трубопроводу становить:

$$q_{\text{вод}} = Q_{\text{нас}} / 2 = 117,09 / 2 = 58,55 \text{ м}^3/\text{год} = 16,26 \text{ л/с}$$

Відповідно до вищевказаного документу, при розрахунковій витраті вод $q_{\text{вод}} = 16,26 \text{ л/с}$, пропускна здатність напірного трубопроводу з поліетилену діаметром $D_u = 110 \text{ мм}$ не задовольняє наших умов при ухилі, рівним $i = 0,049$, і швидкості рідини $v = 2,209 \text{ м/с}$, тому що швидкість руху води в трубопроводах повинна бути рівною $0,8-2,0 \text{ м/с}$ згідно табл.24 ДБН В.2.5-74:2013. Проектом приймається прокладка третього водоводу $\varnothing 160 \text{ мм}$ паралельно існуючих трубопроводах $2\varnothing 110$, в такому випадку розподіл води буде здійснюватися в такий спосіб:

На трубопровід $\varnothing 160$ - 50% розрахункової витрати, тобто $16,26 \text{ л/с}$

На кожен трубопровід $\varnothing 110$ - по 25%, тобто $8,13 \text{ л/с}$.

Таким чином для $\varnothing 160$ $i = 0,0081$, $v = 1,041 \text{ м/с}$

Для $\varnothing 110$ $i = 0,0143$, $v = 1,105 \text{ м/с}$.

3.3. Визначення розрахункового напору насосів

Необхідний напір насосів, м, можна підрахувати за формулою:

$$H = H_g + h_v + h_n + h_{nc} + h_{вл}, \text{ м}$$

де H_g - геометрична висота підйому води, різниця відміток мінімального рівня води в приймальному резервуарі КНС і найбільш високою точкою в мережі, м (35,0м);

h_v - втрати напору у всмоктуючих водоводах при витратах, відповідних максимальній подачі насосної станції, м;

h_n - втрати напору в напірних водоводах при витратах, відповідних максимальній подачі насосів, м;

h_{nc} - втрати напору в комунікаціях всередині насосної станції, орієнтовно можуть бути прийняті $2,0 \div 3,0$ м;

$h_{вл}$ - вільний напір на закінчення води з труби, приймається 1,0 м

Втрати напору у всмоктуючих і напірних трубопроводах, а також в запірно-регулюючій арматурі при визначенні напору насосів окремо можливо й не враховувати, вважаючи, що вони включені в втрати напору насосної станції.

Втрати напору в водоводах від насосної станції до колодязя-гасителя можна підрахувати за формулою:

$$h_n = k i l, \text{ м}$$

де k - коефіцієнт, що враховує величину місцевих опорів в напірних водоводах; для попереднього розрахунку напору приймаємо в розмірі 10% від втрат напору по довжині, тобто $k = 1,1$;

i - гідравлічний ухил (втрати напору на одиницю довжини трубопроводу) ($i = 0,0081$);

l - довжина напірного трубопроводу від насосної станції до очисних споруд

$$(l = 904,1 \text{ м}).$$

$$h_n = 1,1 \cdot 0,0081 \cdot 904,1 = 8,06 \text{ м}$$

$$H = 35 + 8,06 + 3,0 + 1,0 = 47,06 \text{ м}$$

На напірних водоводах передбачено перемикання (перемичка), для того щоб при аварії на одній з ділянок не було б зниження в відкачці стоків. Згідно ДБН В.2.5-75:2013, число перемикань між водоводами має забезпечувати при виключенні одного водоводу або його ділянки пропуск 100% розрахункової витрати, при цьому слід передбачати використання резервних насосів. Для забезпечення 100% відкачування стоків при аварії встановлено дві перемички між напірними водоводами, з максимальною довжиною ремонтної ділянки в 350м.

До розрахунку приймається найгірший варіант аварії, а саме аварія на трубопроводі $\varnothing 160$, довжина ремонтної ділянки складає 350м. В такому

випадку по кожному трубопроводу Ø100 буде подаватися по 50% розрахункової витрати, тобто по 16,26л / с, а на кожному з наступних ділянок в нормальному режимі, тобто на трубопровід Ø160 - 50% розрахункової витрати (16,26л / с), на кожен трубопровід Ø110 - по 25% (8,13 л / с.).

В результаті втрати напору на лінії від насосної станції до колодезя-гасителя обчислюються за формулою:

$$h = 1,1 \cdot i \cdot l + 1,1 \cdot i \cdot l$$

$$h = 1,1 \cdot 0,049 \cdot 350 + 2 \cdot 1,1 \cdot 0,0081 \cdot 277,05 = 23,81 \text{ м}$$

$$H = 35 + 23,81 + 3,0 + 1,0 = 62,81 \text{ м}$$

При аварії на одній з ділянок водогонів 100% -ва відкачка стоків буде забезпечена при роботі двох насосів, в даному випадку при включенні в роботу аварійного насоса.

Висновок: Для підбору насосного обладнання приймається наступні параметри:

$$Q = 32,53 \text{ л / с (117,09 м}^3 \text{ / ч)} \quad H = 47,0 \text{ м.}$$

Труба ПЕ 100 SDR 17 Д. 160 мм 1 гілка і Труба ПЕ 100 SDR 17 Д. 110 мм 2 гілки (резерв) при цьому К нерівномірності 2.5

Таблиця підбору швидкостей і насосів

Варіант 3 трубопроводи (2x110) резерв +X							
№ п/п	К нерівномірності	Подача (м ³ /год)	Діаметр трубопроводів ПЕ 100 SDR 17 (мм)	Швидкість потоку (м/с)	Тиск на початку трубопроводу (м)	Насос Flygt потужністю (кВт)	Подача (л/с)
1	0,5	30	110	1,16	6 50		8,33
2	1	60	110	2,32	87	NP 3202 47кВт	16,67

3	1	60	125	1,73	61	NP 3171 22кВт	16,67
4	1	60	140	1,4	51	NP 3171 22кВт	16,67
5	1	60	160	1,1	43	NP 3171 22кВт	16,67
6	1,7	100	160	1,82	56	NP 3202 47кВт	27,78
7	1,7	100	180	1,47	48	NP 3202 47кВт	27,78
8	1,7	100	200	1,15	42	NP 3171 22кВт	27,78
9	1,7	100	225	0,91	39	NP 3171 22кВт	27,78
10	2	120	160	1,84	52	NP 3202 47кВт	33,33
11	2	120	200	1,38	45	NP 3202 47кВт	33,33
12	2	120	225	1,1	41	NP 3202 47кВт	33,33
13	2,5	150	180	2,1	58	NP 3301 55кВт	41,67
14	2,5	150	200	1,72	50	NP 3202 47кВт	41,67
15	2,5	150	225	1,38	43,5	NP 3202 47кВт	41,67
16	3,5	180	200	2,07	55	NP 3202 47кВт	50,00
17	3,5	180	225	1,64	47	NP 3202 47кВт	50,00
18	3,5	180	250	1,33	42	NP 3301 55кВт	50,00
19	4	240	250	1,78	43	NP 3202 45кВт	66,67
20	4	240	225	2,19	54	NP 3301 70кВт	66,67
21	5	300	250	2,22	53	NP 3301 70кВт	83,33
22	5	300	280	1,72	44,5	NP 3315 85кВт	83,33

Насос підібран Flygt 3202 с продуктивністю 47 кВт.

Розділ економічного обґрунтування вартості

№ п/п	Найменування	Од. Вим.	Кі- сть	Вартість, грн. з НДС	Сума грн. з НДС
Обладнання					
1	Flygt 3202 -S793	шт.	3	920 000,00	2 760 000,00
2	Шкаф управління насосами ЩУН	шт.	1	723 000,00	723 000,00
3	Шкаф управління здвижками ЩУЗ	шт.	1	220 000,00	220 000,00
4	система контролю рівня	к-т	1	61 000,00	61 000,00
5	вантажно-підйомне обладнання	к-т	1	172 000,00	172 000,00
6	Дробилка	шт.	1	840 000,00	840 000,00
7	Шкаф управління дробилкой ЩУД	шт.	1	80 000,00	80 000,00
8	Система вентиляції та воздуховодів	к-т	1	58 000,00	58 000,00
9	система контролю ГДК шкідливих газів	к-т	1	23 000,00	23 000,00
10	Тимчасова склопластикова КНС у сборі	к-т	1	172 000,00	172 000,00
11	Шкаф управління насосами ЩУН тимчасова схема	шт.	1	46 000,00	46 000,00
12	постійна КНС д =3 м Н= 5м склопластикова у сборі	к-т	1	498 000,00	498 000,00
13	установка плазмо- сорбційнокаталітичної очистки «СТОПКР-1- 4,5	к-т	1	804 000,00	804 000,00

14	Павильйон	шт.	1	190 000,00	190 000,00
15	витратомір Симаг 11 на 110 мм	шт.	1	54 000,00	54 000,00
16	витратомір Симаг 11 на 200 мм	шт.	1	96 000,00	96 000,00
ВСЬОГО по обладнанню:					6 797 000,00
Матеріали					
17	Труба нержавіюча 159x4 AISI 304 (08X18H10)	м	6	3 200,00	19 200,00
18	відводи, фланці, кріплення	к-т	1	26 800,00	26 800,00
19	Труби ПНД ПЭ 100 SDR 17 д. 160	м	1000	230,00	230 000,00
20	Задвижки шиберні з видвижним штоком і з ел. Привідом АУМА	шт.	6	70 000,00	420 000,00
21	Задвижки шиберні з видвижним штоком і маховиком	шт.	18	18 000,00	324 000,00
22	клапан зворотній шаровий	шт.	2	9 900,00	19 800,00
23	колодці пластикові збірні з трубною обв'язкою	к-т	8	23 000,00	184 000,00
24	витратні матеріали, бетон, метал, кабелі і інше	к-т	1	192 000,00	192 000,00
ВСЬОГО по матеріалам:					1 415 800,00
ВСЬОГО:					8 212 800

Розділ 4

Камерна модель біологічного очищення води в умовах не лімітованого кисневого режиму

Теоретичний аналіз процесів біологічної очистки стічних вод є дуже складною та відповідальною задачею. Складність рішення задачі полягає в тому, що процес біологічного очищення є багатофакторним, а створення багатофакторних моделей, забезпечення їх необхідними параметрами та «доведення» рішення до «числа»- нетривіальна задача. Крім цього, важливішим аспектом є те, що процес біологічного очищення має характерну рису- це довготривалий процес. Тому, широке використання фізичного експерименту, на етапі рішення проектних задач – не є можливим. С цієї точки зору, розробка теоретичних методів оцінки роботи біореакторів має особливу важливість.

На основі системного аналізу літературних джерел було визначено групи математичних моделей, що використовуються для розрахунку біореакторів в системах очистки стічних вод. Поперше, слід вказати, що існуючі моделі діляться на такі групи:

1. математичні моделі, що орієнтовані на оцінку ефективності роботи біореактору в умовах не лімітованої кількості кисню в споруді;
2. математичні моделі, що орієнтовані на оцінку ефективності роботи біореактору з урахуванням нерівномірного розподілу кисню в споруді;
3. математичні моделі, що орієнтовані на оцінку тільки кількості кисню в споруді при різних умовах його подачі.

Розглянемо групи моделей, що відрізняються підходами до їх побудови.

Емпіричні моделі. Ці моделі створюють основу нормативних та інженерних методик розрахунку біореакторів. Моделі мають вигляд алгебраїчних співвідношень, що використовуються для визначення тих або

інших параметрів очистних споруд. Наприклад, тривалість аерації в аеротенку визначається так [45],

$$t = \frac{L_a - L_t}{a \cdot (1 - S_l) \rho}$$

де L_a - БПК_{пов} стічної води, що потрапляє в споруду, L_t - БПК_{пов} стічної води, що вишла зі споруди, S_l - зольність активного мулу, ρ - швидкість окислення, a - доза активного мулу.

Емпіричні моделі дуже зручно використовувати для проектування типових біореакторів, що працюють при «класичних» умовах експлуатації. Розрахунок на базі цих моделей не потребує значного часу та може бути виконано без використання комп'ютера. Дуже важливе те, що при використанні емпіричних моделей, використовуються параметри, що прямо характеризують умови експлуатації споруди та їх легко визначити: добова витрата стічних вод, параметри стічних вод та таке інше; кількість таких параметрів – незначна. Але, ці моделі мають недоліки:

1. Як усі емпіричні моделі, вони можуть використовуватись лише для тих умов, для яких були визначені конкретні константи, що містить модель;
2. Моделі, фактично, на враховують гідродинаміку усереднені біореактору;
3. Моделі не враховують геометричну форму біореактору.
4. Моделі, не враховують, детально, біологічні аспекти очищення води.
5. Моделі не враховують нерівномірний розподіл субстрату, активного мулу, кісню в реакторі.

Інша група моделей – моделі, в основі яких покладено звичайні диференціальні рівняння, що описують процес біологічної очистки стічних вод. Це – нуль – вимірні моделі, основа яких – балансове співвідношення: «приток – вихід – прирост (або деструкція)». Нерідко, ці моделі мають назву «балансові». Аналіз літературних джерел показав, що, в світі, саме ці моделі найбільш частіше використовуються для практичних розрахунків або в

наукових дослідженнях. Прикладом рівнянням такої моделі є наступне рівняння, що використовується для аналізу роботи біореактору з рухомих біоценозом [89]

$$\frac{dS_{ib}}{dt} = \frac{V}{Q}(S_{io} - S_{ib}) - J_{\max} \cdot a - r_{si} X_{ib} \quad (1.1)$$

де S_{ib} – концентрація субстрату в біореактору; Q – витрата стічних вод; V – обсяг реактору; S_{io} – концентрація субстрату, що надходить в реактор; J_{\max} – потік субстрату в біоплівку; a – параметр; r_{si} – швидкість біологічного очищення; X_{ib} – концентрація активного мулу; t – час.

Таким чином, нуль – вимірні моделі є багатофакторними, що важливо для практики.

Також необхідно підкреслити, що поряд з нестационарними рівняннями, що мають вигляд (1.1), часто використовуються стаціонарні рівняння (тобто, коли $\frac{\partial S}{\partial t} = 0$ та інші похідні за часом дорівнюють нулю). Використання стаціонарних рівнянь дозволяє, в багатьох випадках, знаходити аналітичний розв'язок задачі.

Важливим аспектом є те, що за допомогою моделей даної групи можна визначити константи, які входять в моделі, що використовуються для теоретичного опису біологічного очищення в реакторі (модель Monod, моделі Harremoës, Stover – Kincaid та інше).

Математичний опис процесу зміни концентрації субстрату S з часом від біологічної мікробної популяції здійснюється за допомогою різних моделей, наприклад, таких

- реакція першого порядку: $\frac{dS}{dt} = k_0 X S$

- реакція нульового порядку: $\frac{dS}{dt} = k_1 X$

- реакція змішаного порядку: $\frac{dS}{dt} = kXS$

де X – концентрація мікроорганізмів; k, k_0, k_1 -емпіричні параметри.

Існують також більш складні моделі, що враховують, наприклад при визначенні $\frac{dS}{dt}$, значення кисню в стічних водах. Безумовно, використання більш складних моделей потребує наукового обґрунтування більшої кількості емпіричних параметрів, що входять в моделі. Це – дуже важлива та складна задача.

Слід зазначити, що існуючі нуль –вимірні моделі, що використовуються для аналізу роботи біореакторів, в цілому, орієнтовані на рішення задач, коли параметри задачі – постійні. Наприклад, не враховується змінна з часом витрати стічних вод, а також змінна з часом концентрації субстрату, що надходить в реактор. Це є недоліком, тому що витрата стічних вод є суттєво нерівномірною, тобто вона є змінною з часом на реальних об'єктах. Також змінним з часом є концентрація субстрату в стічних водах, що потрапляють на очистку. Така зміна концентрації може бути пов'язано, наприклад, при виникненні аварії на об'єкті.

Широке використання моделей даної групи пояснюється тим, що, як відзначалося вище, моделюючі рівняння допускають аналітичний розв'язок. В деяких випадках, можливе застосування чисельних методів (наприклад, метод Рунге -Кута) для вирішення звичайних диференціальних рівнянь [26]. Моделі даної групи використовуються, за кордоном, в кодах ASM1, ASM2 та інших. В моделях цієї групи додатково використовуються емпіричні «субмоделі», що дозволяють визначити необхідні для розрахунку реактору параметри (наприклад, модель Monod, модель швидкості деструкції субстрату в біоплівці та таке інше). Додатковою «субмоделлю» є одновимірне рівняння дифузії, що описує, наприклад, потік субстрату в біоплівку.

Розрахунок на базі моделей цієї групи триває де –кілько секунд, тобто моделі можливо використовувати для проведення серійних розрахунків на практиці.

Моделі даної групи орієнтовані на вирішення широкого класу задач в галузі аналізу роботи біореакторів: споруд, що працюють, наприклад, як класичні реактори – аеротенки – змішувачі; реакторів зі зваженим біоценозом; реакторів з рухомим біоценозом[1, 51, 52, 54]. В Україні зроблен значний вклад по створенню моделей даної групи. Актуальні результати наведені в роботах акад. Олійника О.Я., Айрапетян Т.С., Карагяура А.С.

Широкий спектр застосування моделей даної групи пов'язан з тим, що в основі моделей полягає закон збереження маси для субстрату, активного мулу або кисню – тобто, використовується універсальне положення механіки суцільного середовища.

Але, слід відзначити такі недоліки моделей даної групи:

1. Не враховується гідродинаміка всередині реактору;
2. Не враховується нерівномірність розподілу концентрації активного мулу та субстрату в реакторі та вплив такої нерівномірності на процес біологічних переутворень.

Інша група моделей – CFD моделі для розрахунку споруд біологічного очищення стічних вод. В основі даних моделей покладено послідовне рішення трьох задач – задачі гідродинаміки, задачі масопереносу та задача біологічного «переутворення» субстрату. Для рішення гідродинамічної задачі використовуються, найчастіше, рівняння Нав'є – Стокса. Для розрахунку концентрації активного мулу та субстрату використовується багатовимірне рівняння масопереносу. Задача біологічного переутворення субстрату вирішується за допомогою «субмоделей» різної ієрархії. Дані моделі також використовуються для розрахунку кісневого режиму в біореакторі. Тобто, моделі даної групи – теж багатofакторні та крім цього, вони дозволяють враховувати вплив руху субстрату, кисню, активного мулу на ефективність біологічної очистки стічних вод.

Важливою перевагою моделей даної групи є можливість розрахунку нерівномірного розподілу субстрату, активного мулу, швидкості в біореакторі, врахування геометричної форми споруди, місць подачі кисню та таке інше (рис.1.8). Як правило, за кордоном, для CFD моделювання, використовується комерційні пакети програм, наприклад, пакет ANSYS. Тобто, дослідники дуже рідко розробляють свої CFD моделі, а використовують вже існуючі пакети програм.

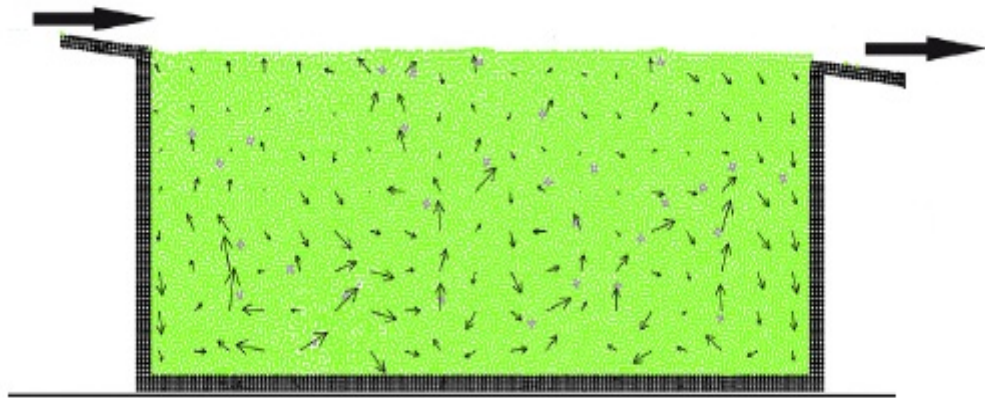


Рисунок 4.1 CFD моделювання течії в біореакторі [Michael Meister]

Аналіз літературних джерел показує, що частка наукових досліджень на базі CFD моделей, в даній галузі, – дуже обмежена. При наявності суттєвих та важливих переваг CFD моделювання над моделями інших груп, у цих моделях є ряд недоліків:

1. Дуже висока коштовність комерційних, ліцензованих пакетів для CFD моделювання ;
2. Необхідність спеціалізованих знань в галузії обчислювальної гідродинамики, очистки стічних вод у користувача;
3. Необхідність ліцензії у користувача для використання комерційних пакетів в наукових дослідженнях або в прикладних розрахунках;
4. Значні затрати комп'юторного часу на розрахунок одного варіанту задачі (тривалість розрахунку – декілько діб);

5. Потрібно використовувати потужні комп'ютери для проведення розрахунків, що є суттєвою перешкодою на шляху щоденного використання на практиці.

6. При використанні комерційних пакетів *CFD* моделювання роботи біореакторів можливо лише в «рамках», що дозволені розробниками пакету.

Як свідчить аналіз літературних джерел, в Україні, є суттєвий дефіцит самостійно побудованих *CFD* моделей.

Слід підкреслити, що сьогодні існує незначна кількість математичних моделей, що дозволяють розраховувати біореактори з завислим або зваженим біоценозом [1].

Також, особливо важливо відзначити, що для практики необхідні моделі, що можливо забезпечити вхідними даними, що необхідні для проведення розрахунків (наприклад, параметри для моделі Monod, для моделі Graumodeta таке інше).

4.1 Метод фізичного моделювання для дослідження роботи біореакторів

Використання будь – якої математичної моделі для аналізу роботи біологічного реактору неможливо без використання набору констант, що описують сам процес біологічної «взаємодії» субстрату та активного мулу. Чим складніше математична модель – тим більша кількість констант необхідна для замикання моделюючих рівнянь. Єдиний шлях визначення цих констант – лабораторний або польовий експеримент .

Тому метод фізичного моделювання, як засіб дослідження процесів в реакторі та забезпечення роботи математичних моделей - є найважливім інструментом.

Аналіз літературних джерел показав, що фізичний експеримент в галузі біологічного очищення стічних вод проводиться в різних масштабах:

1. Масштаб №1 – дослідження у всьому об'ємі реактору;
2. Масштаб №2 – вимірювання біля різних елементів всередині реактору – (наприклад, рівень зерен спеціального завантаження).

Особливістю фізичного експерименту в галузі біологічного очищення стічних вод – є значна тривалість експерименту (дослідження йдуть тижнями). Тому, фізичний експеримент, як щоденний метод дослідження та вирішення прикладних задач – досить нерельна річ. Крім цього, для проведення експерименту необхідне коштовне, у ряді випадків – унікальне обладнання (рис.4.2).

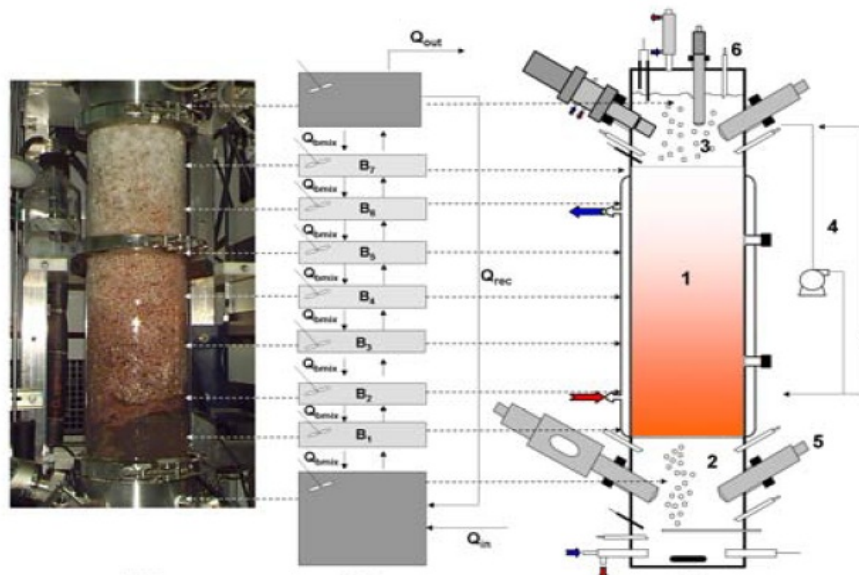


Рисунок 4.2 Експериментальне обладнання для проведення досліджень в біореакторі

Нажаль, в наступний час, в Україні, є проблеми з таким, сучасним обладнанням. Тому, публікація експериментальних досліджень, що проводяться за кордоном та висвітлюється в наукових публікаціях є дуже важливим аспектом. Наприклад, наведемо дані, що до значень деяких експериментальних параметрів, що визначалися для практичного

використання моделі Monod: $\mu_{\max} = 0.135 \text{ дроб}^{-1}$, $K_s = 9.75 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)}$ [

$$\mu_{\max} = 0.23 \text{ дроб}^{-1} - 3.17 \text{ дроб}^{-1}, \quad K_s = 13.8 \text{ мг / л} - 508 \text{ мг / л};$$

$$\mu_{\max} = 3.97 \text{ дроб}^{-1}, K_s = 74 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)}$$

$$\mu_{\max} = 0.0324 \text{ дроб}^{-1} - 0.1095 \text{ дроб}^{-1}, K_s = 4612 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)} - 6663 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)}$$

[Muhammad H. Al- Malack]; $K_s = 5.5 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)} - 2130 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)}$] та таке інше. Як ми бачимо з наведених даних, існує суттєва різниця між значеннями параметрів, що є очевидним для констант, що визначаються для різних умов експериментальним шляхом.

Фізичний експеримент дозволяє не тільки визначити константи для створення «працездатних» математичних моделей, але також дає можливість побачити деякі особливості процесу, наприклад, як формується, якої форми біоплівка та таке інше.

Таким чином, можна говорити, що в галузі розробки та удосконалення методів розрахунку біореакторів сучасний фізичний експеримент грає вкрай важливу роль.

Розглянемо найбільш спрощену математичну модель біологічного очищення води в біореакторі торговельного комплексу. Побудова моделі здійснюється при допущенні, що має місце не лімітований кісневий режим. Для проведення швидких, пілотних розрахунків будується камерна (нуль - вимірна) чисельна модель.

При побудові моделі біологічного очищення води в умовах не лімітованого кісневого режиму в споруді будемо враховувати наступні фактори:

- Процес зміни концентрації субстрату з часом.
- Процес зміни концентрації активного мулу (субстрату) з часом.
- Процес потрапляння в споруду активного мулу (можливе потрапляння різної кількості в різні моменти часу).

- Процес потрапляння в аеротенк субстрату (можливе потрапляння різної кількості в різні моменти часу).

Побудуємо математичного опису процесу очистки води в біореакторі, що дозволяє врахувати фактори. Для цього будемо використовувати закон збереження маси. Розрахункова схема показана на рис.4.1

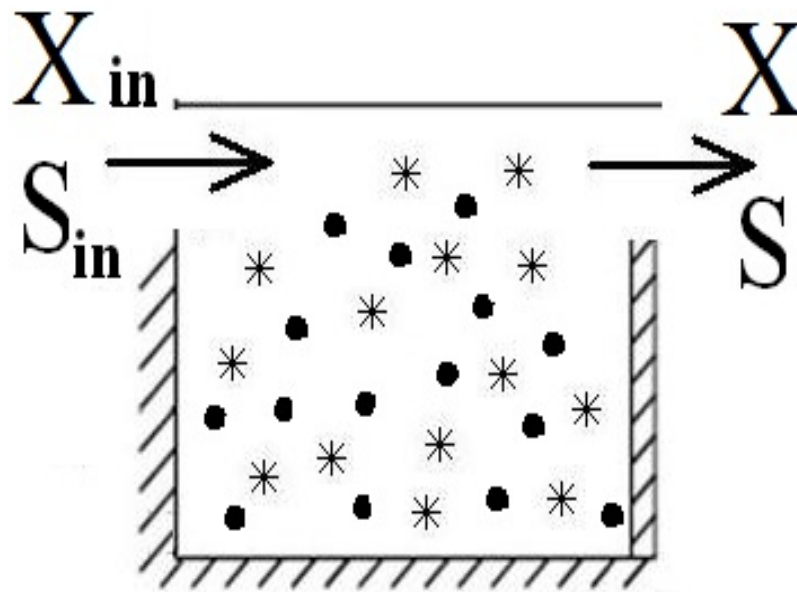


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема споруди

Рівняння матеріального балансу для субстрату та активного мулу в реакторі, з урахуванням моделі Monod [23], можна записати так

$$\begin{aligned}
 W \cdot dX = dt \cdot Q_x(t) \cdot X_{in}(t) - dt \cdot Q_x(t) \cdot X + \\
 + dt \cdot \mu \cdot W \cdot X - dt \cdot K_d \cdot W \cdot X
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

$$W \cdot dS = dt \cdot Q_s(t) \cdot S_{in} - dt \cdot Q_s(t) \cdot S(t) - dt \cdot \frac{\mu}{Y} \cdot W \cdot X
 \tag{4.2}$$

де $X_{in}(t)$ - концентрація активного мулу, що потрапляє в аеротенк; $S_{in}(t)$ - концентрація субстрату що потрапляє в споруду; W - об'єм реактору; $Q_s(t)$ - витрата субстрату; $Q_x(t)$ - витрата активного мулу; K_d - коефіцієнт вимірання активного мулу; t - час; X - концентрація активного мулу в реакторі; S - концентрація субстрату в споруді; μ - коефіцієнт; Y - параметр.

Рівняння (4.1), (4.2) описують зміну концентрації активного мулу та субстрату в споруді за час dt . Ця модель відноситься до нуль-вимірних моделей. Недоліком даної моделі є те, що дана модель не враховує нерівномірність розподілу концентрації активного мулу та субстрату в біореакторі. Крім цього, значення параметрів S , X - що шукаються на базі моделі (2.1), (2.2), відноситься до концентрацій на виході з біореактора, а не всередині споруди. Тобто, нема можливості визначати ефект біологічного очищення в різних частинах споруди.

Наведемо залежність для визначення параметра μ , що входить в рівняння (4.1), (4.2) [Perede, Zamarreto]

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{S + K_s} \quad (4.3)$$

де K_s - коефіцієнт *Monod*; μ_{\max} - коефіцієнт;

Значення параметрів, що надходять в систему рівнянь (4.1) - (4.3) визначається експериментальним шляхом та наведені в наукових публікаціях, наприклад : $K_d=0.055$ (доб⁻¹), $K_s=100$ (мг*л⁻¹), $\mu_{\max}=1.04$ (доб⁻¹); $Y=0.55$.

Для системи рівнянь (4.1), (4.2) потрібно надати початкові умови вигляду

$$\text{при } t=0 : X=X_0, \quad S=S_0 \quad (4.4)$$

Поряд з моделлю (4.1), (4.2) розглянемо більш спрощену модель

$$W \cdot dS = dt \cdot Q_s(t) \cdot S_{in}(t) - dt \cdot Q_s(t) \cdot S(t) - W \cdot dt \cdot K_1 \cdot S \quad (4.5)$$

де K_1 – емпірична константа, що враховує зміну концентрації субстрату внаслідок біологічного очищення [MeghdadPiraheb]. Моделююче рівняння (4.5) представляє закон збереження маси субстрату з урахуванням того, що має місце рух стічних вод в реакторі та «переутворення», в реакторі, субстрату зі швидкістю, яка задається параметром K_1 .

На відміну від роботи в моделі (4.5) враховується зміна з часом витрати стічних вод, що потрапляє в біореактор, та змінну з часом концентрацію субстрату, що потрапляє в реактор.

Розділ 5

Практичне використання балансових моделей для оцінки ефективності роботи біореактору

Розглянемо практичне використання побудованої балансової (камерної) чисельної моделі для оцінки ефективності роботи класичного біореактору (реактор, що має форму басейну, куди потрапляє активний мул та субстрат зі стічними водами). Ефективність роботи оцінюється за величиною субстрату на виході з реактору. Нижче приведені результати розрахунку зміни концентрації субстрату на виході з аеротенку при наступних вхідних даних:

$S_{in} = 140$ мг/л- концентрація субстрату (БПК_{пов}), що потрапляє в споруду;

$W = 12388$ м³- об'єм аеротенку;

$Q_s(t) = 48500$ м³/доб – витрата стічних вод;

$K_l = 32$ (1/доб) – коефіцієнт швидкості деструкції субстрату в реакторі.

Початкова умова: $S_{in} = 140$ мг/л- концентрація субстрату в реакторі для моменту часу $t=0$.

Розглядалося три сценарія:

- Сценарій №1: має місце рівномірна подача стічних вод в реактор;
- Сценарій №2: має місце рівномірна подача стічних вод в реактор, але на інтервалі (5 год – 8 год) збільшується на 30 % концентрація субстрату в стічних водах (аварійна ситуація).
- Сценарій №3: має місце рівномірна подача стічних вод в реактор, але на інтервалі (5 год – 8 год) збільшується на 30 % концентрація субстрату в стічних водах та на 30% витрата стічних вод (аварійна ситуація).

На рис. 5.1 показано, як змінюється концентрація субстрату на виході з реактору для сценаріїв, що розглядаються.

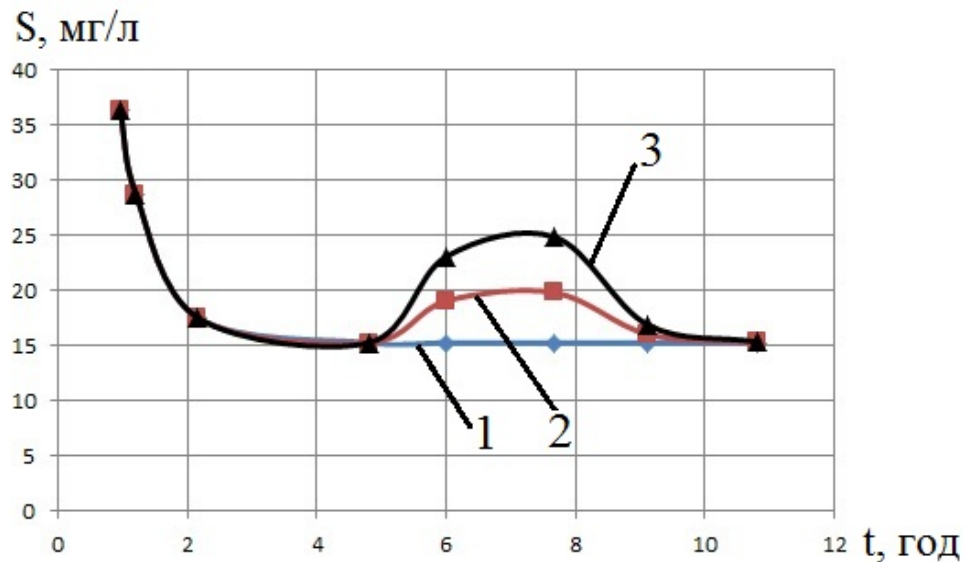


Рисунок 5.1 – Зміна концентрації субстрату на виході з реактору: 1 – рівномірний подача субстрату в реактор, сценарій №1; 2 – сценарій №2; 3 – сценарій №3.

Як ми бачимо з рис.4.1, при рівномірній подачі стічних вод, к моменту часу $t=5$ год встановлюється стаціонарний режим та концентрація субстрату на виході з реактору становлює порядку 15 мг/л. У випадку сценарію №2 та №3, ми бачимо «всплеск» концентрації субстрату в реакторі та погіршення ефективності його роботи. Але, к моменту часу $t=9$ год, реактор вже «вертає» свою ефективність. Тобто, протягом 1 години реактор може «відновити» свою ефективність.

На наступному етапі були проведені параметричні дослідження на базі моделі (2.5), (2.14). Розглядалася очистка води вбіореакторі при таких параметрах:

$S_{in} = 140$ мг/л- концентрація субстрату (БПК_{пов}), що потрапляє в споруду;

$W = 12388$ м³- об'єм аеротенку;

$K_1 = 32$ (1/доб) – коефіцієнт швидкості деструкції субстрату в реакторі .

Початкова умова: $S_{in} = 140$ мг/л- концентрація субстрату в реакторі для моменту часу $t=0$.

При проведенні досліджень визначалась ефективність очистки води при різних значеннях параметру $A = \frac{Q_{in}}{W}$, де Q_{in} - годинна витрата стічних вод, що надходить в біореактор. Тобто, даний параметр відпоідає за гідродинамічний режим в споруді. Відзначимо, що це е суттєвий параметр, який входить в чисельну модель (2.14) оцінки ефективності роботи біореактору.

В табл.5.1 наведені дані, що до зміни, з часом, концентрації субстрату в біореакторі. Відзначимо, що зріст параметру A (водообмін), при постійному значенні об'єму аеротенку W означає зріст кількості стічних вод, що надходять в біореактор з часом.

Таблиця 5.1

Значення концентрації субстрату на виході з реактору для різних значень параметру A .

Час, год	$A = 0$ (1/год)	$A = 1$ (1/год)	$A = 6$ (1/год)
0	140.0 мг/л-	140.0 мг/л-	140.0 мг/л-
0.12	117.63 мг/л-	117.63 мг/л-	117.64 мг/л-
0.60	58.55 мг/л-	59.34 мг/л-	63.21 мг/л-
1.20	24.48 мг/л-	26.61 мг/л-	36.44 мг/л-
1.80	10.24 мг/л-	13.32 мг/л-	27.10 мг/л-
2.04	7.22 мг/л-	10.57 мг/л-	25.38 мг/л-

Як ми бачимо з табл.5.1, при зростанні параметру A ефективність роботи реактору знижується. Тобто, при зростанні витрати стічних вод, що надходять в реактор, який має об'єм W , швидкість процесу біологічної

«деструкції» субстрату починає відставати від швидкості процесу руху субстрату в споруді.

Для підтвердження цієї думки приведемо додаткові результати моделювання на базі камерної моделі, що базується на моделі Monod. Моделювання здійснюється на базі початкових даних з роботи [Bayram], а саме: $\mu_{\max} = 0.034 \text{год}^{-1}$, $K_s = 46.55 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)}$, $S_0 = 1000 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)}$, $X_0 = 500 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)}$, $Y = 0.25 \text{ (мг*мг}^{-1}\text{)}$, $K_d = 0.001 \text{год}^{-1}$. Підкреслемо, що в роботі Bayram моделювання здійснювалося на базі камерної моделі, що працює тільки коли параметр $A=0$. Це є моделювання роботи batch реактору – тобто, реактору без водообміну. Розрахунок в роботі Bayram здійснювався на базі методу Рунге- Кутта.

Розрахунки в даній роботі здійснювалися на базі розробленої камерної чисельної моделі для сценаріїв: $A=0$, $A=0.5$; $A=1$, $A=3$, тобто, досліджується процес біологічної очистки води при збільшенні швидкості водообміну в біореакторі. При розрахунку використовувалися також такі дані: $X_{in}=500 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)}$ - концентрація активного мулу, що потрапляє в біореактор, $S_{in}=1000 \text{ (мг*л}^{-1}\text{)}$ - концентрація субстрату що потрапляє в біореактор;

Таблиця 5.2

Значення концентрації субстрату на виході з реактору для різних значень параметру A .

Час	Розрахунок[Bayram], $A=0$	Розрахунок, $A=0.5$	Розрахунок, $A=1$	Розрахунок, $A=3$
4 год	$S=853 \text{ мг/л}$	$S=853 \text{ мг/л}$	$S=853 \text{ мг/л}$	$S=853 \text{ мг/л}$
8 год	$S=693 \text{ мг/л}$	$S=853 \text{ мг/л}$	$S=853 \text{ мг/л}$	$S=853 \text{ мг/л}$

Як ми бачимо з табл.5.2, при збільшенні швидкості водообміну в біореакторі, ефективність очистки – знижується.

Таким чином, наприклад, при аварійному збільшенні кількості стічних вод, що потрапляє в реактор, ефективність очистки води може дуже суттєво впасти. Якщо ми можемо, заздалегідь, оцінити кількість стічних вод та інтенсивність їх забруднення при можливих аварійних ситуаціях, ми можемо, за допомогою побудованої моделі прогнозувати ефективність роботи біореакторів та розробляти додаткові захисні заходи.

Розглянемо питання ефективності очистки води, при зміні водообміну в реакторі, з теоретичної точки зору. Для аналізу будемо використовувати моделююче рівняння (5.5).

Запишемо рівняння (5.5) у вигляді похідної для швидкості зміни концентрації субстрату в реакторі, з часом

$$W \cdot \frac{dS}{dt} = Q_s(t) \cdot S_{in}(t) - Q_s(t) \cdot S - WK_1 \cdot S$$

Для спрощення, приймаємо, що витрата стічних вод постійна та не залежить від часу. Поделимо це рівняння на W (об'єм реактору), та отримаємо наступне рівняння

$$\frac{dS}{dt} = A \cdot S_{in} - A \cdot S - K_1 \cdot S$$

де параметр $A = \frac{Q_s}{W}$ відповідає за гідродинаміку в реакторі.

Розщеплемо це рівняння, на диференційному рівні, так

$$\frac{dS}{dt} = A \cdot S_{in} \tag{5.1}$$

$$\frac{dS}{dt} = -A \cdot S \tag{5.2}$$

$$\frac{dS}{dt} = -K_1 \cdot S \quad (5.3)$$

Таке розщеплення дозволяє здійснити суттєво спрощений, порівняльний аналіз, впливу двох факторів на швидкість зміни концентрації субстрату в реакторі. Перший фактор - це швидкість водообміну стічних вод в реакторі (рівняння (5.1)). Другий фактор - це швидкість біологічного розпаду в реакторі (рівняння (5.3)). Прийнемо, що, на малому часовому кроці, $S_{in} = S$.

Згідно (5.1) швидкість зміни концентрації субстрату $\frac{dS}{dt}$ внаслідок руху стічних вод в реакторі пропорційна величині « A »(1/год), а швидкість зміни концентрації субстрату внаслідок біологічних процесів в реакторі пропорційна величині « K_1 »(1/год).

Тоді, якщо ми маємо

$$A \angle K_1$$

то швидкість процесу біологічного очищення переважає швидкість руху субстрату в реакторі, тобто буде мати ефективна очистка стічних вод.

Якщо,

$$K_1 \angle A$$

то швидкість руху субстрату в реакторі переважає швидкість процесу біологічного очищення – процес біологічної очистки може бути малоефективним.

Для практики, перший варіант є суттєвим важливим.

Відзначимо, що такий аналіз є спрощеним та теоретичним. Він не враховує усі зв'язки між параметрами моделі, але він висвітлює певну тенденцію. Цю тенденцію добре можна бачити з рис.5.2.

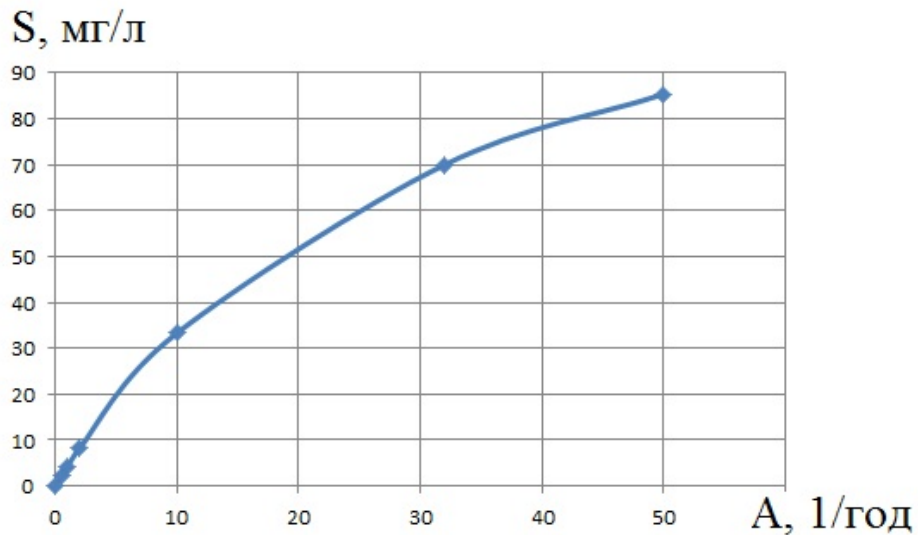


Рисунок 5.2 - Концентрація субстрату на виході з реактору при встановленні стаціонарного режиму

Рис.5.2 показує значення концентрації субстрату, яка буде виходити з реактору при встановленні в споруді стаціонарного режиму, але при різних значень параметру « A ». Дані для моделювання такі, як в розглянутої вище задачі. Розрахунок здійснено для параметру $K_1 = 32$ (1/год).

Як ми бачимо з рис.5.2, при збільшенні водообміну, тобто, при зростанні параметру A якість очистки води – зменшується. Таким чином, для забезпечення ефективної очистки води потрібно організувати водообмін в біореакторі з урахуванням вказаної залежності.

Низче приведені результати рішення задачі по оцінці ефективності роботи біологічного реактору на базі розробленої моделі (2.1), (2.2), (2.12), (2.13), тобто при використанні моделі Monod для опису біологічної очистки стічних вод. Розрахунки виконувалися при наступних вхідних даних :

$S_{in} = 160$ мг/л- концентрація субстрату (БПК_{пов}), що потрапляє в біореактор;

$W = 54$ м³- об'єм реактору;

$Q_s(t) = 430$ м³/доб – витрата стічних вод;

$X_{in} = 1.5$ г/л - концентрація активного мулу, що потрапляє в реактор.

$\mu_{\max} = 1.04$ - параметр.

$K_s = 100$ мг/л - параметр

$K_d = 0.055$ 1/доб – коефіцієнт, що враховує загібель мікрорганізмів.

$Y = 0.55$ - параметр.

Початкова умова: $S_{in} = 160$ мг/л, $X_{in} = 1.5$ г/л, - концентрація субстрату та активного мулу в реакторі для моменту часу $t=0$.

Розглядалося три сценарія:

- Сценарій №1: нема подачі стічних вод та активного мулу в реактор – тобто, йде процес очистки стічних вод тільки тих стічних вод, що є в початковий момент в споруді;

- Сценарій №2: має місце рівномірна подача стічних вод та активного мулу в реактор.

- Сценарій №3: має місце рівномірна подача стічних вод та активного мулу в реактор, але на інтервалі (0.0032 год – 0.016 год) збільшується на 70 % концентрація субстрату в стічних водах, що потрапляють на очистку(аварійна ситуація).

На рис. 5.3 показано, як змінюється концентрація субстрату на виході з реактору для першого сценарія.

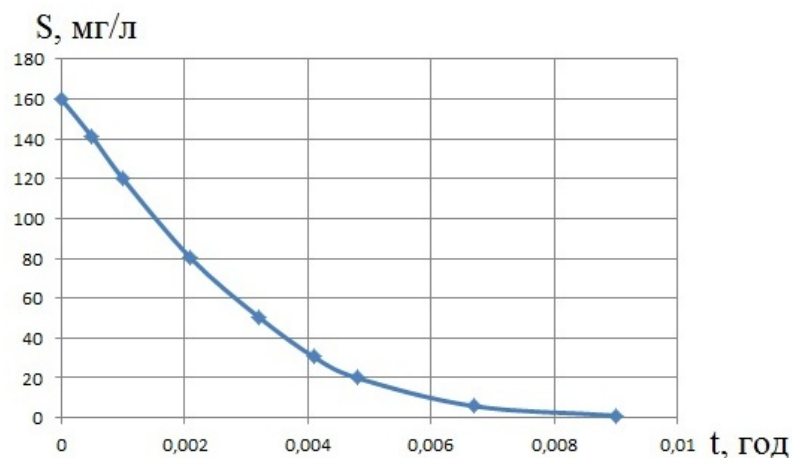


Рисунок 5.3 - Концентрація субстрату на виході з реактору (сценарій №1)

Як ми бачимо з рис. 5.3 в біореакторі, з часом, має місце поступове зниження концентрації субстрату до нуля.

На рис. 5.4, 5.5 показано, як змінюється концентрація субстрату та активного мулу на виході з реактору для другого сценарія. Ці рисунки ілюструють динаміку «вихода» реактору на стаціонарний режим роботи.

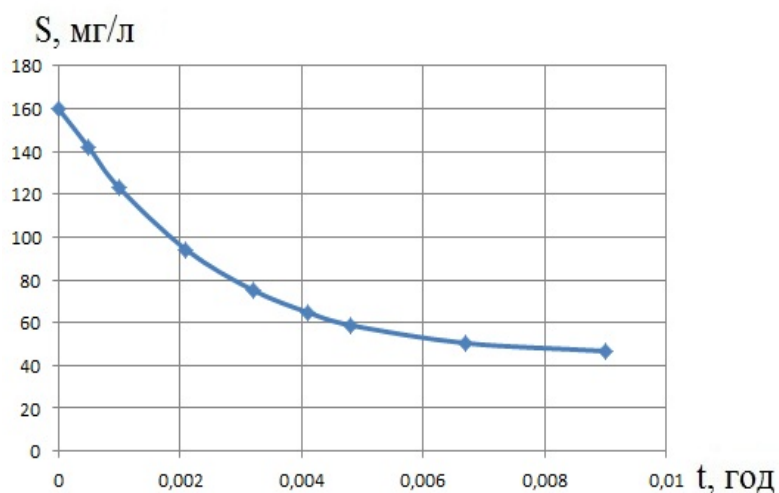


Рисунок 5.4 - Концентрація субстрату на виході з реактору (сценарій №2)

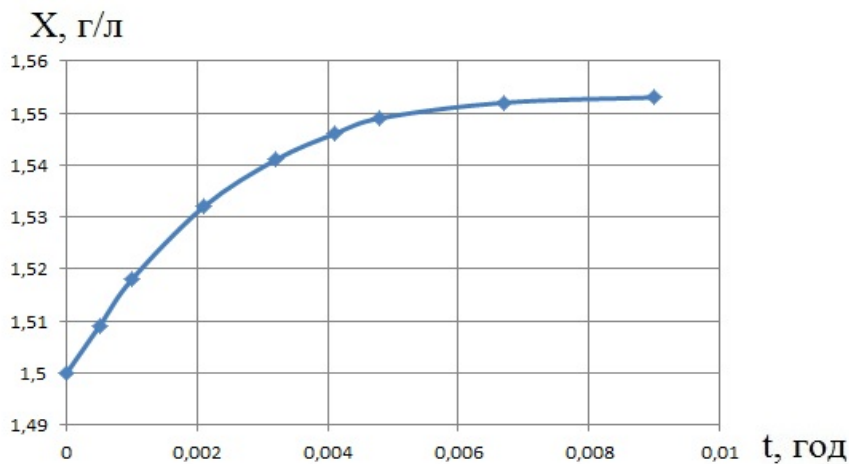


Рисунок 5.5 - Концентрація активного мулу на виході з реактору (сценарій №2)

На рис. 5.6, 5.7 показано, як змінюється концентрація субстрату та активного мулу на виході з реактору для сценарія №3 – тобто, у випадку

раптового збільшення кількості субстрату в стічних водах внаслідок аварії на об'єкті.

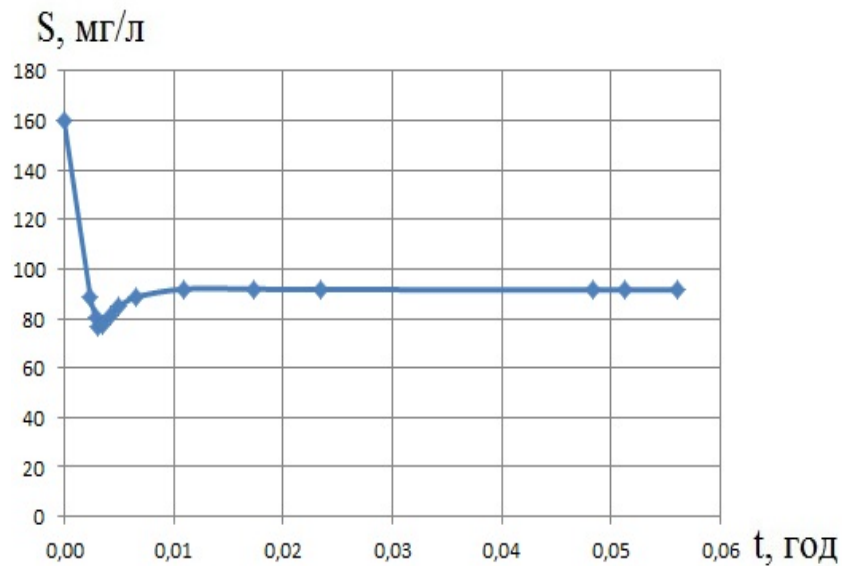


Рисунок 5.6 - Концентрація субстрату на виході з реактору (сценарій №3)

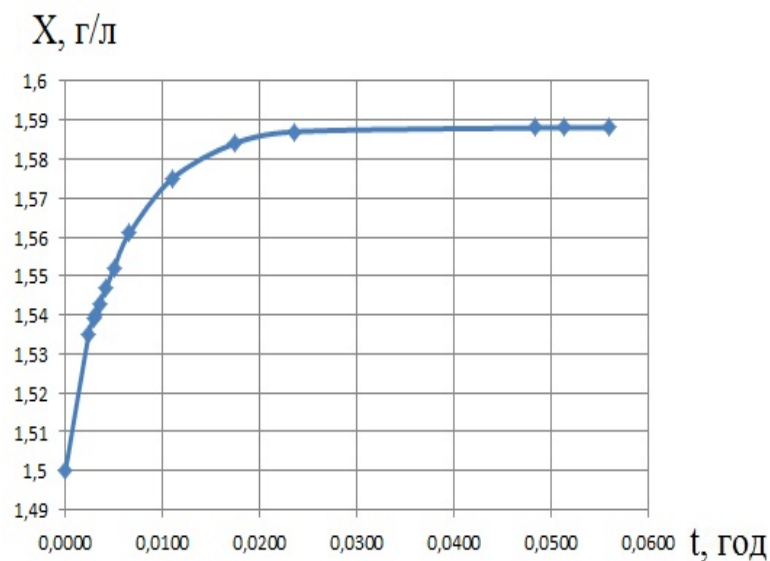


Рисунок 5.7 - Концентрація активного мулу на виході з реактору (сценарій №3)

Як ми бачимо з рис.5.6, з початку, має місце зменшення концентрації домішки, що виходить з реактору, але, з моменту часу, приблизно, $t=0,005$ год починається зріст концентрації субстрату на виході з реактору. Це означає

погіршення ефективності біологічної очистки стічних вод. З моменту часу $t=0.01$ год, в реакторі встановлюється усталений режим очистки, але на виході з реактору, ми маємо значну концентрацію субстрату, тобто на цьому часовому інтервалі, що розглядається, реактор працює не ефективно.

З рис.5.7 ми бачимо, що концентрація активного мулу, спочатку поступово зростає, а далі виходить на стаціонарний режим.

Відзначимо, що час розрахунку кожної задачі на базі розроблених комп'ютерних моделей та програм склав 0.5с, тобто , розроблені моделі можна використовувати для проведення серійних розрахунків з метою аналізу ефективності роботи реакторів для біологічної очистки стічних вод. Основна вимога до аналізу роботи реакторів на базі побудованих моделей – обґрунтоване визначення вхідних параметрів для моделі.

Висновки

1. Проведено аналіз існуючого стану та прийнято основні рішення, щодо побудови КНС для комплексу «Олімпія».

2. Виконано розрахунок трубопроводу, що підводиться та пропускної здатності напірного трубопроводу КНС.
3. Виконано підбір насосного обладнання. Приймаються наступні параметри: $Q = 32,53$ л / с ($117,09$ м³ / ч) $H = 47,0$ м. Труба ПЕ 100 SDR 17 Д. 160 мм 1 гілка і Труба ПЕ 100 SDR 17 Д. 110 мм 2 гілки (резерв) при цьому К нерівномірності 2.
4. Виконано економічне обґрунтування вартості обладнання та матеріалів КНС.

Список використаних джерел

1. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник / Т. О. Шевченко, Ю. В. Ярошенко, М. М. Яковенко, В. М. Беляєва ; Харків. нац. ун-т міськ. госва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ, 2014. – 195 с.
2. Гідравлічні і аеродинамічні машини / О. М. Романюк, Г. П. Вербицький, М. І. Колотило та ін. – Кіровоград, 1997. – 176 с.
3. Колотило М. І. Насоси, повітродувки, компресори : навч. посібник для вузів / М. І. Колотило – Харків : ХДТУБА, 1997. – 128 с.
4. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. – Москва : Стройиздат, 1984. – 119 с.
5. Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле академика Н.Н. Павловского. Издание 4-е, дополненное. Стройиздат, 1974.
6. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: «УкрНДІводоканалпроект», розробники: О. Оглобля, Г. Пархомович, О. Буланий та інш. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 280 с.
7. Насосное оборудование. Водоснабжение. Водоотведение : [каталог 2008–2009 гг.]. – [4-ая ред.] – Омск : Насосный завод «ВЗЛЕТ», 2009. – 232 с.
8. Grundfos System Guide Commercial Services : [каталог насосного оборудования 2004 г.], 2004. – 229 с.
9. Calpeda Creative Technology : [каталог насосного оборудования 01/2006], 2006. – 221 с.
10. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [Текст] : «УкрНДІводоканалпроект», розробники: О. Оглобля, Г. Пархомович, О. Буланий та ін. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 128 с.

1. Беляев Н.Н., Козачина В.А., Лемеш М.В., Кириченко П.С. Компьютерное моделирование очистки сточных вод. Матеріали V

Міжнародної науково – технічної конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем», 6 – 8 листопада 2019, м. Дніпро, с.22.

2. Беляєв Н.Н., Козачина В.А., Лемеш М.В., Кириченко П.С. Математические модели в задачах очистки сточных вод // Матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд», 15 -16 жовтня 2019, Харків, ХНУБА. С. 5.

3. Беляєв, Н.Н. Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения [монографія] / Н.Н. Беляєв, Е.К. Нагорная. – Д.: Нова ідеологія, 2012. – 112 с.

4. Беляєв, Н.Н. CFD моделирование процесса формирования осадка в горизонтальном отстойнике / Н.Н. Беляєв, В.А. Козачина // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – №3 (81). – С. 222-225.

5. Беляєв, Н.Н. CFD моделирование работы горизонтального двухэтажного отстойника с поворотом потока в вертикальной плоскости / Н.Н. Беляєв, В.А. Козачина // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Д.: НГУ, 2014. – №45. – С. 152-157..

6. Беляєв, Н.Н. CFD моделирование работы горизонтального отстойника со струенаправляющими пластинами / Беляєв Н.Н., Козачина В.А // Вода та водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – К., 2014. – №2 (15) – С. 50-55.

7. Біляєв М.М., Козачина В.А., Лемеш М.В., Кіриченко П.С. Моделювання очистки води в системах «аеротенк - відстійник» // East European Scientific Journal. – 2019. – Vol 10(50). – P. 10-15.

8. Бертокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. М.: «Мир», 1980. - 606с.

9. Бойко Т.В., Жежерун Я.В. Алгоритмізація розрахунку біологічного очищення стічних вод в аеротенках //

Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку
–КМХТ -2019, с.290 -293

10. Бомба А. Я. П. Сафоник А.П. Математичне моделювання процесу аеробного очищення стічних вод в пористому середовищі /Математичне та комп'ютерне моделювання, 2011. с.36 -44

11. Василенко А.И. Проектирование канализации населенных мест / А.И. Василенко, А.А. Василенко. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Будівельник, 1985. – 136 с.

12. Василенко, О.А. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник / О.А. Василенко, С.М. Епоян – Київ, Харків: КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив, 2012. – 540 с.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебное пособие / Ю.В. Воронов. - М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2009. – 760 с.

17. Горносталь С.А., Петухова Е.А., Уваров Ю.В. Повышение эффективности работы сооружений биологической очистки городских сточных вод.: Монография, Х.: НУГЗУ, 2015, 102с.

18. Гуревич, М. И. Теория струй идеальной жидкости / М.И. Гуревич. – М.: Наука, 1979. – 536 с.

19. 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.

20. Душкин, С.С. Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий подготовки экологически чистой питьевой воды / С.С. Душкин, Г.И. Благодарная. – Харьков: ХНАГХ, 2009. – 95 с.