

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Підвищення енергоефективності підприємств молокопереробної галузі шляхом виробництва біогазу з їх відходів**

Виконав: студент **6** курсу, групи **ЕМм-61**  
напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	_____	<b>Чайківський А.І.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<b>Зінь М.М.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<b>Вакуленко О.О.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	<b>Тарасенко М.Г.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<b>Козак К.М.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2020

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Тарасенко М.Г.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(шифр і назва)

студенту Чайківському Андрію Івановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності підприємств молокопереробної  
галузі шляхом виробництва біогазу з їх відходів

Керівник роботи Зінь Мирослав Михайлович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від 01 вересня 2020 року № 4/7-619

2. Термін подання студентом роботи 16 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Гурик О.Я.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викл. Клепчик В.М.</i>		

7. Дата видачі завдання

*01 вересня 2020 р.*

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком дипломної роботи	01.09.20 – 01.10.20	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки дипломної роботи	01.10.20 – 20.11.20	
3	Підготовка розділу « <i>Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях</i> »	23.11.20 – 29.11.20	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	17.11.20 – 29.11.20	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	30.11.20 – 06.12.20	
6	Отримання відгуку та рецензії на дипломну роботу, підготовка доповіді на захист	06.12.20 – 15.12.20	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Чайківський А.І.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Зінь М.М.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи становить 80 сторінок. В роботі міститься 21 рисунок, 19 формул і 4 таблиці. Об'єктом дослідження є відходи молочного виробництва – стічні води і молочна сироватка.

Актуальність впровадження процесу метанового бродіння в технологію очищення стічних вод збіглася з розвитком енергетичної кризи, тобто з необхідністю пошуку нових, нетрадиційних джерел енергії. Метанове бродіння має велике значення в промисловості не тільки і навіть не стільки в технології очищення стічних вод, скільки в якості дешевого і перспективного джерела енергії: біогазу – метану. Під час виробництва молочних продуктів утворюється велика кількість молочної сироватки і стічних вод. Відомі різні методи утилізації сироватки – ультрафільтрація, сушка та інше, але через відсутність досконалих ресурсозберігаючих технологій ці методи майже не застосовуються. Недостатнє промислове використання відходів призводить до великих втрат цінних речовин, зниження ефективності виробництва та необхідності сплати штрафів за скидання викидів.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення ефективності підприємств АПК шляхом виробництва біогазу з відходів молочних заводів.

**Предметом дослідження** є анаеробне бродіння стічних вод і сироватки молочних заводів для одержання біогазу і попереднього очищення з наступною аеробною ферментацією для повної ліквідації забруднень.

**Перелік ключових слів:**

СТІЧНІ ВОДИ МОЛОЧНОГО ВИРОБНИЦТВА, ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД, МОЛОЧНА СИРОВАТКА, БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ, АНАЕРОБНЕ БРОДІННЯ, БІОГАЗ, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

## ЗМІСТ

	<b>с.</b>
<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....</b>	<b>6</b>
<b>ВСТУП .....</b>	<b>7</b>
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>10</b>
1.1 Умови формування та фізико-хімічні показники стічних вод підприємств молочної промисловості .....	10
1.2 Методи очищення стічних вод підприємств молочної галузі.....	16
1.2.1 Очищення стічних вод підприємств молочної галузі із використанням фізико-хімічних методів .....	20
1.2.2 Очищення стічних вод підприємств молочної галузі методами активного мулу.....	21
1.2.3 Очищення стічних вод підприємств молочної галузі з допомогою метанового бродіння .....	25
1.3 Висновки до розділу 1 .....	31
<b>2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>33</b>
2.1 Розрахунок технологічної схеми переробки стоків і сироватки з засто- суванням метанового бродіння .....	33
2.1.1 Вихідні дані .....	33
2.1.2 Розрахунок технологічної схеми спільної переробки загального стоку і сироватки.....	33
2.1.3 Розрахунок технологічної схеми переробки загального стоку і сироватки з роздільною анаеробною ферментацією .....	35
2.2 Розрахунок теплового балансу метантенків.....	38
2.2.1 Вихідні дані .....	38
2.2.2 Розрахунок теплового балансу .....	39
2.3 Економічне обґрунтування впровадження технології очищення стічних вод і	

виробництва біогазу на підприємствах молочної галузі .....	40
2.4 Висновки до розділу 2 .....	42
<b>3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....</b>	<b>43</b>
3.1. Процес метанового бродіння відходів підприємств молочної галузі .....	43
3.2. Розробка технологічної схеми переробки і очищення стоків та молочної сироватки з виробництвом біогазу .....	49
3.2.1. Апаратурно-технологічна схема та її опис.....	50
3.2.2. Вилучення великих часток та жиру .....	53
3.2.3. Змішування, нейтралізація та регулювання потоку стічних вод .....	55
3.2.4. Підігрівання стоків в теплообміннику .....	56
3.2.5. Анаеробна обробка в метантенках I та II стадії.....	57
3.2.6. Контроль та управління процесами анаеробного бродіння .....	61
3.2.7. Освітлення та аерація стічних вод.....	63
3.2.8. Видалення відпрацьованої біомаси із стічних вод .....	65
3.3. Висновки до розділу 3 .....	65
<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ....</b>	<b>66</b>
4.1. Охорона праці та техніка безпеки при виробництві біогазу та експлуатації біогазових установок .....	66
4.1.1. Заходи безпеки при виробництві біогазу.....	66
4.1.2. Правила безпеки при експлуатації біогазових установок .....	68
4.2. Забезпечення проведення рятувальних та інших невідкладних робіт .....	69
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>72</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>73</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АПК	Агропромисловий комплекс
БСК	Біологічне споживання кисню
КУ	Когенераційна установка
НС	Надзвичайна ситуація
ПК	Персональний комп'ютер
СВ	Стічні води
СО	Оксид вуглецю
СО <sub>2</sub>	Вуглекислий газ
СПАР	Синтетичні поверхнево-активні речовини
ХСК	Хімічне споживання кисню
ЦО	Цивільна оборона

## ВСТУП

Відходи підприємств харчової промисловості дуже різноманітні. Рідкі і тверді відходи розрізняються по кількісному і якісному складу, хоча в усіх відходах присутні основні органічні сполуки – білки, жири, вуглеводи. Найбільші проблеми в харчовій промисловості стосуються екології води і в ряді випадків – екології ґрунту.

Екологічні проблеми в молочній промисловості залежать від того, де розташоване виробництво: у міській чи сільській місцевості. Міські заводи використовують тепло й електроенергію, яку одержують з міста, сільські заводи повинні мати своє забезпечення. Міські молочні заводи використовують міську каналізацію, хоча це неправильно, тому СВ молочних заводів мають високу ступінь забруднення. СВ продукуються в основному миттям цистерн, автотранспорту, апаратури та приміщень. Підприємства молочної промисловості прийнято поділяти на сироробні заводи і міські молочні заводи, які відрізняються за рівнем забруднення стічних вод.

Забруднення каналізаційних стоків СВ молочних заводів будь-якого профілю заборонено правилами охорони навколишнього середовища, але існують підприємства, які зливають СВ безпосередньо в водоймище або збирають попередньо в резервуари, а вже потім стічні води практично в неочищеному вигляді потрапляють у водоймище. Це варто розглядати як екологічний злочин. Кожен літр СВ підприємства молочної промисловості забруднює близько однієї тони води чистої води водоймища.

Вода на молочних заводах надходить із сировиною. Витягаючи з неї всі корисні речовини, можна воду, що залишилася, використовувати на технічні потреби, не споживаючи чистої води взагалі. Це стосується заводів, де з молока витягаються його складові частини. Якщо продукт готується з незбираного молока чи у вигляді вторинного продукту із сироватки, то вода, яка міститься в молоці, йде на споживання. В цьому випадку необхідна певна кількість свіжої (водопровідної) води для миття обладнання. СВ, що при цьому утворюються,



легко піддаються очищенню, і їх можна повертати в оборотне водопостачання. Що стосується очищення стічних вод, то тут існують різні підходи до сировобних і просто молочних підприємств.

Актуальність впровадження процесу метанового бродіння в технологію очищення СВ збіглася з розвитком енергетичної кризи, тобто з необхідністю пошуку нових, нетрадиційних джерел енергії. Метанове бродіння має велике значення в промисловості не тільки і навіть не стільки в технології очищення СВ, скільки в якості дешевого і перспективного джерела енергії: біогазу – метану. За кордоном в багатьох галузях промисловості метанове бродіння відходів стало значним додатковим джерелом енергії. Дослідження в цьому напрямку продовжуються й у нашій країні. Роботи, що публікуються, свідчать про можливість і доцільність переробки на біогаз рідких і твердих відходів практично всіх харчових виробництв. Не є виключенням і молочна промисловість. Досліджень по очищенню СВ цієї галузі проведено мало. Традиційна технологія у цьому випадку не придатна.

Рівень забруднення по ХСК СВ молочних заводів різної продуктивності складає в межах 3000 мг/л, що вказує на доцільність застосування метанового бродіння. На молочних заводах є й інші екологічні проблеми, наприклад пов'язані з молочною сироваткою. Це – вторинна сировина, що повинна бути використана по давно відомій технології одержання різних харчових продуктів. Однак це здійснюють далеко не всі підприємства. Багато заводів використовують не цілком або зовсім не використовують сироватку для виробництва вторинних продуктів. Частина сироватки по тим чи іншим причинам потрапляє в каналізацію зі СВ. Це створює додаткові проблеми екології навколишнього середовища. Виникає питання про вплив сироватки на технологічні параметри біохімічного очищення СВ і залежності цих параметрів від кількості сироватки в СВ. Крім цього, дослідження показують, що метанове бродіння сироватки дозволяє одержати 15-кратний об'єм метану відносно об'єму зброджувальної сироватки. Це свідчить про доцільність проведення робіт у даному напрямку.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення ефективності підприємств АПК шляхом виробництва біогазу з відходів молочних заводів.

**Об'єктом дослідження** є відходи молочного виробництва – стічні води і молочна сироватка.

**Предметом дослідження** є анаеробне бродіння стічних вод і сироватки молочних заводів для одержання біогазу і попереднього очищення з наступною аеробною ферментацією для повної ліквідації забруднень.

**Апробація роботи.** Чайківський А.І. Підвищення енергоефективності підприємств молокопереробної галузі шляхом виробництва біогазу з їх відходів. // М.М. Зінь, А.І. Чайківський // Збірник тез доповідей. Матеріали ІХ міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» ( м. Тернопіль, 25 - 26 листопада 2020р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2020. – Т.2. С. 134.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (88 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 80 сторінок, 4 таблиці, 21 рисунок.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Умови формування та фізико-хімічні показники стічних вод підприємств молочної промисловості

Підприємства молочної галузі споживають чисту воду, яка у процесі її використання на технологічні та інші потреби забруднюється різноманітними домішками, переважно органічними. СВ молочних заводів утворюються в результаті виробничих операцій, пов'язаних із миттям технологічного обладнання, тари, підлог. До основних забруднень стічних вод належать складові молочних продуктів, миючі засоби та сторонні предмети [1]. Реакція свіжої стічної води найчастіше нейтральна або слаболужна, але легко переходить у кислу внаслідок збродження молочного цукру. СВ мають мутний, білуватий або жовтуватий колір. Скидання стічних вод підприємств молочної галузі у водойми без їх попереднього очищення спричиняє шкідливий вплив та зміщення біологічної рівноваги водойм. Внаслідок біохімічного окислення органічних сполук, що містяться у стічних водах, із водойми поглинається велика кількість розчиненого у воді кисню, в результаті чого аеробна фауна і флора можуть загинути та виникнути анаеробні процеси.

Умовно чисті води молочних виробництв, що утворюються в результаті експлуатації охолоджувально-пастеризаційних установок, аміачних та повітряних компресорів, рекомендується після відповідної обробки (охолодження, механічної очистки і т.п.) направляти в системи оборотного чи повторного водопостачання підприємства [2, 3].

Кількісні показники СВ для переробки 1 т сировини та коефіцієнти погодинної нерівномірності притоку СВ підприємств молочної галузі приведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

**Норми відведення СВ на підприємствах молочної галузі [1]**

Найменування підприємства	Коефіцієнт годинної нерівномірності притоку стічних вод	Кількість стічної води від переробки 1т сировини, м <sup>3</sup>
Заводи з виробництва:		
сухого молока	1,4 – 1,6	1,7 – 3,5
згущеного молока	1,4 – 1,6	2,7 – 4,5
дитячих молочних продуктів	1,4 – 1,6	3,0 – 3,5
Молокоприймальні пункти	1,4 – 2,0	1,1 – 4,5
Маслозаводи	1,9 – 2,0	1,8 – 4,0
Сирзаводи	1,6 – 1,8	5,0 – 6,5
Міськмолзаводи	1,7 – 1,9	3,0 – 7,0

Оскільки більшість молокопереробних заводів України випускає широкий спектр продукції, у стічних водах містяться практично всі можливі компоненти молока та молочних продуктів. У СВ підприємств молочної галузі потрапляють також господарсько-побутові стічні води, але їх кількість порівняно незначна, і вони мало впливають на фізико-хімічні показники стоку в цілому. Отже, фактичні концентрації забруднень стічних вод молокозаводів залежать від профілю та потужності підприємства, технології виробництва, ступеня повторного та зворотного використання умовно чистих стічних вод, втрат сировини та ін.

Таблиця 1.2

## Фізико-хімічні показники СВ підприємств молочної галузі

Показник	Од вим.	Підприємство			
		Новоград-Волинський сирзавод (за даними автора)	Маслозавод [4]	Молокозавод [5]	Хорольський молочно-консервний комбінат [6]
рН	од.	7-9	4,2-6,3	3,6-10,4	—*
Темпер.	°С	8-23	—	17-29	—
Завислі речовини	мг/л	1200	300-1200	630	448-602
Сухий залишок	мг/л	—	—	900-2060	—
БСК <sub>5</sub>	мг/л	1460	—	325-1545	890-1440
БСК <sub>повн</sub>	мг/л	1790	—	460-1960	920-1870
ХСК	мг/л	—	800-1700	680-2800	1100-2210
N <sub>заг</sub>	мг/л	—	—	16,8-80,4	—
N <sub>ам.</sub>	мг/л	7-10	—	—	25-39
N <sub>нітратів</sub>	мг/л	1-2	—	—	—
P <sub>заг</sub>	мг/л	—	—	3,7-13,4	—
Жири	мг/л	—	50-200	до 300	—
Хлориди	мг/л	320	—	—	—
Сульфати	мг/л	300	—	—	—

\* - дані відсутні.

## Продовження таблиці 1.2

Показник	Од. вим.	Підприємство			
		Міські молочні заводи [1]	Завод сухого та згущеного молока [1]	Молочний комбінат ім. Фрунзе [7]	Глобинський маслозавод [8]
рН	од.	6,5-8,5	6,8-7,4	6,2-8,5	6,4
Темпер.	°С	–	–	17-27	–
Завислі речовини	мг/л	350	350	181-351	1280-1730
Сухий залишок	мг/л	–	–	до 2300	–
БСК <sub>5</sub>	мг/л	–	–	160-804	–
БСК <sub>повн</sub>	мг/л	1200	1000	–	3720-4290
ХСК	мг/л	–	–	–	4650-5360
N <sub>заг</sub>	мг/л	60	50	–	–
P <sub>заг</sub>	мг/л	8	7	–	–
Жири	мг/л	До 100	До 100	–	490-520
Хлориди	мг/л	150	150	–	–

## Продовження таблиці 1.2

Показник	Один. вим.	Підприємство			
		Молокозавод ТОВ “Радивилів-молоко” (за даними автора)	Усереднені дані молокозаводів Польщі [9]	Молокозавод [10]	Маслозавод (за даними автора)
рН	–	5,8-7,1	9-10,5	6,4-7,6	6,4-11,8
Темпер.	°С	23-34	–	–	18-27
Завислі речовини	мг/л	400-1100	–	200-1980	400-1200
Сухий залишок	мг/л	–	–	1460-3250	800-2600
БСК <sub>5</sub>	мг/л	580-1150	500-2000	690-1900	320-650
БСК <sub>повн</sub>	мг/л	750-1500	–	–	425-825
ХСК	мг/л	860-2400	700-2800	1055-3950	900-1150
N <sub>заг</sub>	мг/л	–	30-150	–	–
N <sub>ам.</sub>	мг/л	15-50	–	–	18-27
P <sub>заг</sub>	мг/л	–	20-100	–	–
Жири	мг/л	–	–	–	–

Як видно із табл.1.2, СВ підприємств молочної галузі характеризуються великими значеннями БСК та ХСК (найбільші – для сирзаводів та маслозаводів), що пояснюється присутністю у них великої кількості молочних білків, вуглеводів та жирів. Також у стічних водах молокопереробних заводів міститься значна кількість завислих речовин – переважно часток кисломолочної продукції, молочні плівки, сирне зерно, що потрапляють у СВ разом із відпрацьованими миючими розчинами. Нерозчинені частки кефіру, ряжанки, сметани, йогуртів, сирів та інших молочних продуктів знаходяться у колоїдному та грубодисперсному стані.

СВ підприємств молочної галузі характеризуються різкими коливаннями значення рН протягом доби, що пояснюється почерговим використанням для миття технологічного обладнання кислотних та лужних миючих розчинів (Дод. А). Окрім того, якщо основну частину продукції складає виробництво масла, сиру або казеїну, реакція стічних вод буде кислою. Для миття використовують миючі розчини та воду, нагріті до високих температур (табл.1.2), СВ мають досить високі значення температури (18-33°C).

Наявність у стічних водах хлоридів, сульфатів, сполук азоту та фосфору пояснюється досить великим вмістом їх у молоці, молочних продуктах, а також утворенням фосфатів та хлоридів при використанні синтетичних миючих засобів. Також у стічних водах молокопереробних заводів завжди містяться такі складові молока, як органічні кислоти, вітаміни та ферменти [11, 12, 13].

У випадку, коли підприємство виготовляє переважно морозиво, у стічних водах може міститись велика кількість вуглеводів (солодких наповнювачів та глазури), що також потрапляють у СВ із відпрацьованими миючими розчинами [14]. Дослідження складу стічних вод молокозаводів дозволило нам систематизувати ці дані на основі класифікації домішок по фазово-дисперсному стану Кульського Л.А. (рис. 1.1).



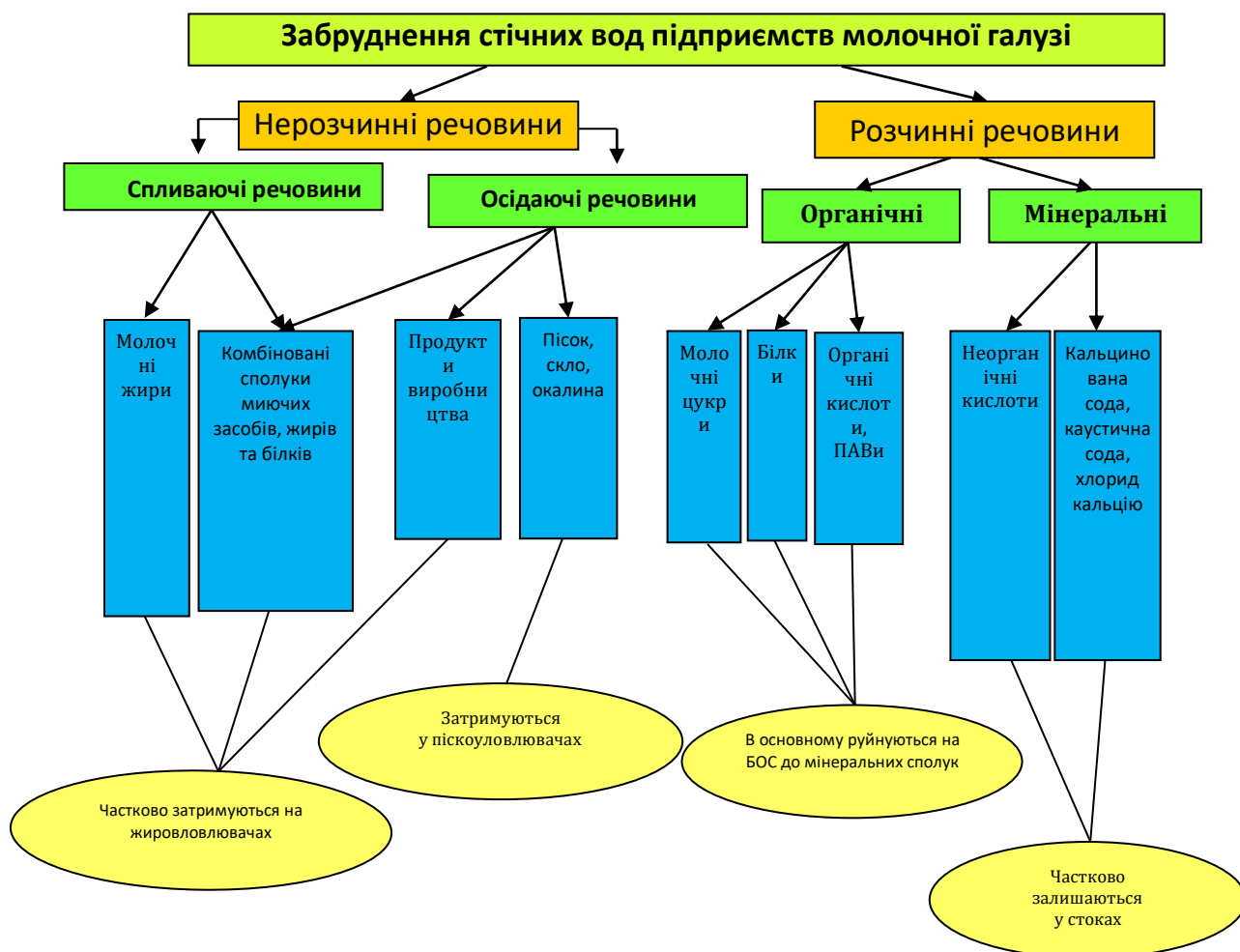


Рис. 1.1. Класифікація забруднень СВ підприємств молочної галузі

## 1.2 Методи очищення стічних вод підприємств молочної галузі

Враховуючи поганий вплив СВ молокозаводів на роботу очисних споруд у разі їх скидання в міську мережу та відсутність очисних споруд у більшості селищ, для підприємств молочної галузі часто виявляється необхідним будівництво власних очисних споруд. Основні методи очищення стічних вод підприємств молочної галузі представлені на рис. 1.2.

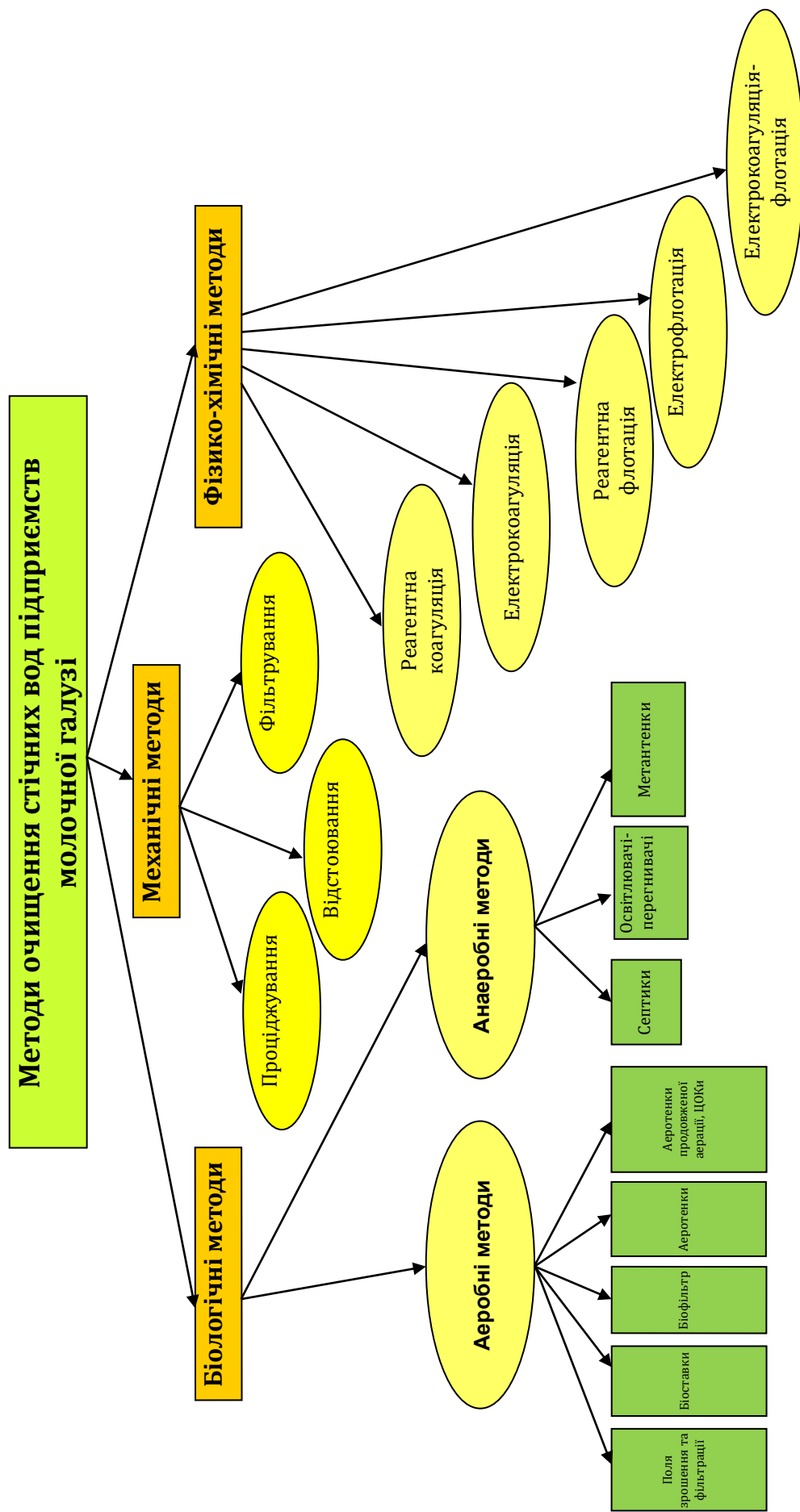


Рис.1.2. Методи очищення СВ підприємств МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ

Оскільки у стічних водах молокозаводів можуть міститись нерозчинені мінеральні домішки, перед подачею їх на біологічні очисні споруди необхідно влаштувати механічне очищення стоків [1,15,16]. Для вилучення із стоків жирів, що потрапляють при митті технологічного обладнання, влаштовують жируловлювачі. Для затримання піску, окалини та іншого бруду влаштовують решітки та піскоуловлювачі. Для вилучення із стічних вод завислих речовин використовуються первинні відстійники або прояснювачі із природною аерацією.

Пріоритет біологічних методів очищення зумовлений не тільки їх порівняно невеликою вартістю та простотою апаратного оформлення, а й характером основних забруднюючих речовин (п.1.1), більшість яких є органічними сполуками, що легко окислюються. Досить тривалий час для обробки стічних вод молокозаводів використовували методи біологічного очищення у природних умовах. Біологічне очищення у природних умовах може здійснюватись на полях зрошення, полях фільтрації та в біологічних ставках. При цьому в процесі очищення одночасно протікають аеробні та анаеробні процеси. Вважається, що очищення стічних вод на полях фільтрації та зрошення належить до найбільш старих та надійних з санітарної точки зору методів [1,17]. Але у зв'язку із тим, що в стічних водах підприємств молочної галузі часто містяться токсичні по відношенню до мікрофлори ґрунту домішки, а також миючі синтетичні та дезинфікуючі речовини, для очищення цих стоків поля зрошення та фільтрації останнім часом не використовують.

Основними методами аеробного очищення у штучних умовах є методи активного мулу та біоплівки, що реалізуються в аеротенках та біофільтрах різних типів і модифікацій. Методи попередньої обробки стічних вод молокозаводів у анаеробних умовах широко поширені у європейських країнах. При цьому використовують як анаеробну біоплівку [18,19,20,21], так і анаеробний мул [22,23]. Використання аеробних та анаеробних реакторів із псевдозрідженим шаром навряд чи виявиться доцільним для очищення стічних вод молочної галузі, оскільки окрім високої вартості їх експлуатації та обслуговування, виникає проблема видалення надлишкових біомас, до того ж

процес вимагає ретельного дотримання визначених технологічних параметрів, що є досить проблемним на сучасних очисних спорудах.

Методи анаеробного очищення для обробки стічних вод підприємств молочної галузі досить перспективні з точки зору можливості використання утвореного внаслідок бродіння газу (водню, метану та ін.). Окрім того, анаеробні процеси характеризуються значно меншим приростом біомаси, ніж аеробні. Одночасно метод анаеробного очищення вимагає ретельного дотримання технологічних параметрів процесу (відсутність кисню, певні температурні проміжки, постійне відведення утворених газів та ін.), а також досить складного апаратного оформлення. Тому анаеробні споруди використовуються обмежено і переважно для попереднього очищення.

Оскільки основна маса завислих речовин, що містяться у стічних водах молокозаводів, характеризується поганими седиментаційними властивостями та має здатність до швидкого загнивання, доцільність влаштування первинного відстоювання сумнівна. Практика експлуатації первинних відстійників показала низьку ефективність очищення стічних вод по завислим речовинам (18-32%) [3,7,24].

Труднощі в експлуатації та незадовільний ефект очищення стічних вод за основними показниками у двох'ярусних відстійниках, що широко використовувались для очищення стічних вод підприємств харчової промисловості, стали поштовхом до розробки нової споруди, у якій одночасно із освітленням стічних вод відбувається зброджування утвореного осаду. Розроблений на кафедрі каналізації Ленінградського Інженерно будівельного інституту (ЛІБІ) прояснювач-перегнивач мав значно вищий ефект очищення за завислими речовинами стічних вод молокозаводів – 70-76 %, тоді як ефект очищення на двох'ярусному відстійнику складав 20-50 % [3].

Західними науковцями досліджено також доцільність очищення стічних вод молокозаводів у комплексі із стічними водами індустріальних підприємств у анаеробних умовах [25].

### 1.2.1 Очищення стічних вод підприємств молочної галузі із використанням фізико-хімічних методів

Дослідження можливості застосування методу електрокоагуляції показали необхідність ретельного хіміко-технологічного контролю процесу, окрім високої залишкової концентрації БСК недоліком методу є також висока вартість реагентів [26,27]. Чи не єдиною перевагою методу виявилась компактність очисних споруд.

Схема попереднього очищення, що використовується для попереднього очищення стічних вод одного із молокозаводів Швеції (рис. 1.3) вимагає застосування значних об'ємів неорганічних коагулянтів (солі заліза, алюмінію) та вапна [1].

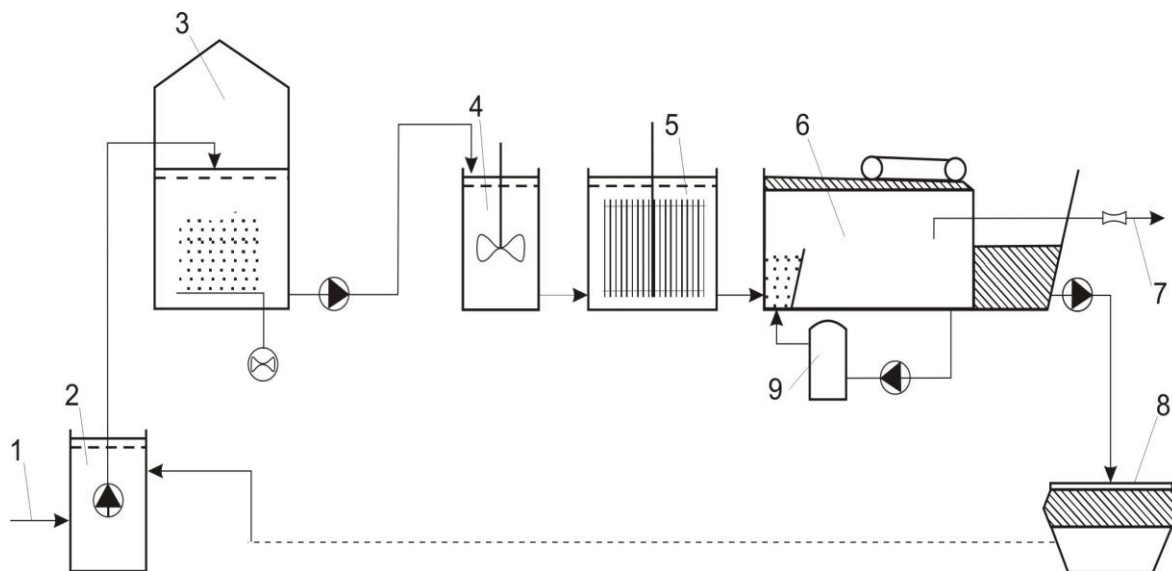


Рис. 1.3. Схема очищення СВ молочного заводу методом коагуляції [1]:

- 1 - трубопровід стічної води;
- 2 - насосна станція;
- 3 - вирівнювальна ємність;
- 4 - камера коагуляції;
- 5 - камера флокуляції;
- 6 - флотаційна камера;
- 7 - трубопровід очищеної води;
- 8 - ємність для пінного продукту (жиру);
- 9 – сатуратор.

Отже, такі схеми очищення стічних вод доцільно використовувати лише у країнах із холодним кліматом, оскільки порівняно із схемами біологічного очищення вона має значні експлуатаційні витрати та потребує складного апаратного оформлення. Окрім того, потреба у біологічному очищенні обробленої за такою технологією води не відповідає. Необхідно відмітити, що в окремих випадках для попереднього очищення (знежирення) стічних вод молокозаводів перед скидом у міську каналізацію пропонується застосовувати методи напірного фільтрування в поєднанні із реагентною обробкою [30,31], реагентної обробки вапном із відстоюванням [32], комбінації електрокоагуляції, відстоювання і електрофлотації [33,34,35,36].

На одному із молокозаводів у Петербурзі реалізована схема двоступеневого очищення стічних вод із використанням напірної флотації [9]. Окрім необхідності додавання у СВ коагулянту в концентраціях приблизно 300 г/м<sup>3</sup>, очисні споруди мають досить низький ступінь очищення стічних вод за БСК<sub>5</sub> (не більше 83 %).

### **1.2.2 Очищення стічних вод підприємств молочної галузі методами активного мулу**

При очищенні стічних вод молокозаводів методом активного мулу на Україні переважно використовуються схеми біологічного очищення в аеротенках та циркуляційних окислювальних каналах. Метод очищення стічних вод активним мулом також широко використовується для очищення стоків м'ясомолочної галузі у західноєвропейських країнах та США [37,38,39,40,41,42].

Окрім значних витрат енергії на аерацію, при очищенні стічних вод молочної галузі метод активного мулу має ще один важливий недолік – можливість “спухання” мулу внаслідок розвитку нитчастих форм бактерій [24,37,38,43,44,45]. При цьому активний мул погано осідає у вторинних відстійниках, що значно ускладнює процес очищення стічних вод.

Досвід експлуатації очисних споруд Новоград-Волинського сирзаводу підтверджує необхідність оптимізації роботи споруд біологічного очищення: при задовільному ступені очищення стічних вод по більшості забруднень (БСК, жири, та фосфор, завислі речовини) існує декілька важливих проблем, а саме: ефективність роботи аеротенків часто знижується внаслідок розвитку нитчастих бактерій, що змушує періодично завозити активний мул із міських очисних споруд. Крім того вартість очищення стічних вод досить висока через значні витрати електроенергії на аерацію та рециркуляцію стоків. Необхідно відмітити також, що ефект очищення стічних вод за БСК<sub>5</sub> в аеротенку рідко перевищував 70%, доочищення стічних вод відбувалось у біоставках, які розраховувались на вдвічі більші об'єми стічних вод (через нестачу сировини та економічні негаразди сирзавод працює в половину проектної потужності).

Оскільки стабільність роботи аеротенків значною мірою залежить від концентрації у стічних водах завислих речовин, низька ефективність первинного відстоювання стає частою причиною зниження ефективності очищення стічних вод в аеротенках.

В Україні існує досвід реконструкції очисних споруд молокопереробних заводів із переобладнанням існуючих аеротенків в аеротенки-відстійники. Двоступенева схема очищення стічних вод Хорольського молочноконсервного комбінату після реконструкції (рис.1.4) дала можливість очищати СВ до потрібних показників [6]. Аеротенки-відстійники працюють як перший ступінь, в якості другого ступеня біологічного очищення побудовано баштові біофільтри. Виходячи із даних [6], в аеротенку видаляється 97-98 % органічних забруднень. Відмова від влаштування первинного відстійника дає можливість зменшити витрати електроенергії на перекачування стічних вод.

Наприкінці 60-х років та на початку 70-х для очищення стічних вод підприємств молочної галузі у Прибалтиці, Чехословаччині та НДР почали широко використовувати циркуляційні окислювальні канали (ЦОКи), в яких очищення стоків здійснюється методом подовженої аерації [46-52]. Головною перевагою цього методу є можливість зменшення кількості надлишкового активного мулу за рахунок процесу самоокислення. Окрім того ЦОКи досить прості в експлуатації, за рахунок конструктивних особливостей стійкі до

залпових надходжень стічних вод та коливань їх забруднень [53]. Так, наприклад, для очищення стічних вод молочного заводу використовувався акумулюючий ЦОК з періодичною аерацією [51], а також окислювальні канали із штучною аерацією [40]. Окрім того, відоме широке застосування ЦОКів для очищення стічних вод підприємств молочної галузі у Польщі, Литві, Нідерландах [48,54]. Основним недоліком методу вважають порівняно великі енерговитрати, ЦОКи використовують виключно для очищення невеликих кількостей стічних вод, оскільки тривалість перебування стічної води у каналах має бути рівною 2–3 добам. Труднощі експлуатації ЦОКів в Україні пов'язані із обмерзанням аератора взимку.

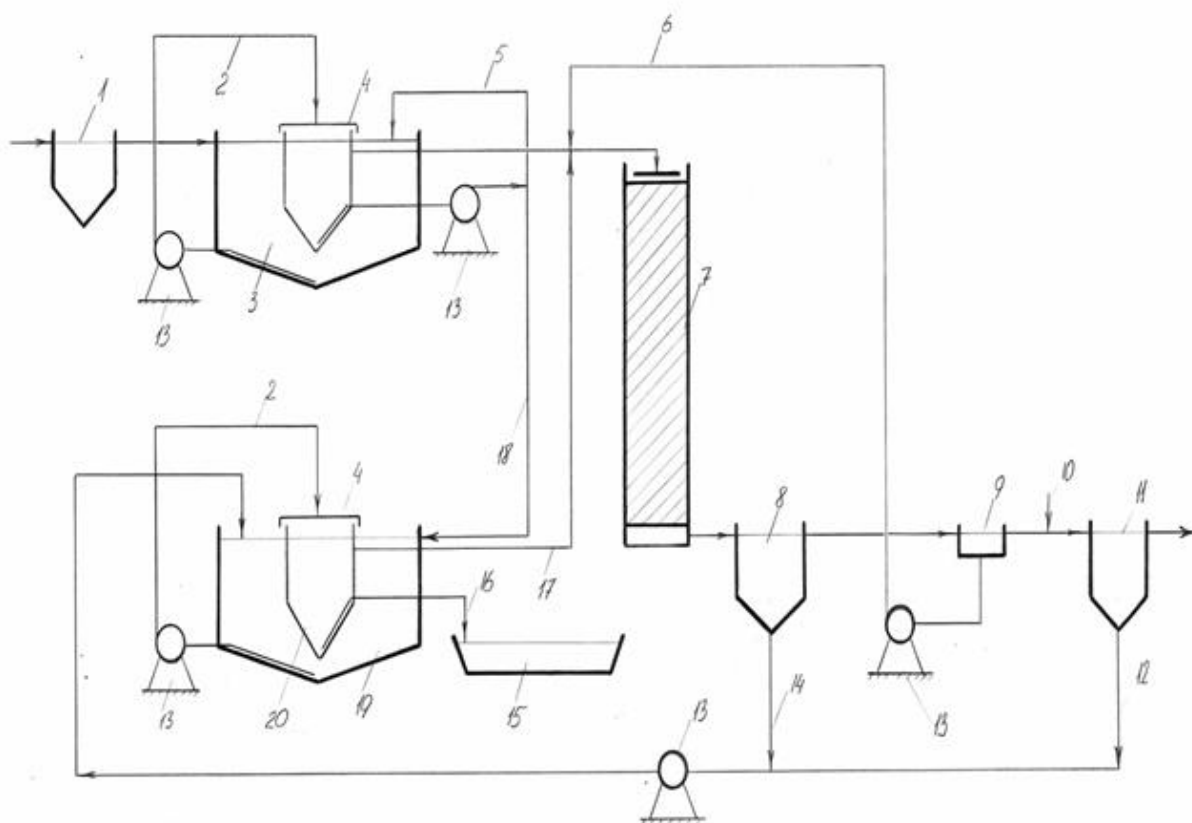


Рис. 1.4. Схема біологічного очищення СВ молочноконсервного комбінату [6]:

- |                                  |                                |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 - піскоуловлювач;              | 12 - осад;                     |
| 2 - трубопровід мулової суміші;  | 13 - насос;                    |
| 3 - аеротенк-відстійник;         | 14 - біоплівка;                |
| 4 - струминний аератор;          | 15 - муловий майданчик;        |
| 5 - зворотний активний мул;      | 16 - стабілізований осад;      |
| 6 - рециркуляційний трубопровід; | 17 - мулова вода;              |
| 7 - баштовий біофільтр;          | 18 - надлишковий активний мул; |
|                                  | 19 - муловий майданчик;        |
|                                  | 20 - муловий майданчик;        |



8 - вторинний відстійник;  
9 - проміжна ємність;  
10 - точка введення хлору;  
11 - контактний резервуар;

19 - аеробний стабілізатор;  
20 - мулоушільнювач.

За даними польських авторів технологічні схеми очищення стічних вод із циркуляційними окислювальними каналами використовують для очищення стоків молочноконсервних заводів із відносно невисокими концентраціями забруднень ( $BCK_5 = 600 \dots 700$  мг/л) [9]. Ефект очищення за  $BCK_5$  становить 95-98 %, але тривалість перебування стічних вод в каналі має бути 3-4 доби, що значно збільшує енерговитрати на очищення стічних вод. Зазначено також, що очищені СВ мають неприємний запах.

Практика використання окислювальних каналів для очищення стічних вод молокопереробних підприємств, де більшу частину продукції складає виробництво масла або казеїну, показує, що ЦОКи не спроможні забезпечувати належного ступеня очищення води. Причиною тому є кисла реакція стічних вод та високі значення ХСК та  $BCK_{повн}$ .

Акумуляуючий ЦОК Ниоського молокозаводу розрахований на добове надходження стічних вод в об'ємі  $26 \text{ м}^3/\text{доб}$ . Періодичність надходження стічних вод дозволила зекономити витрати електроенергії на обертання ротора [51].  $BCK_{повн}$  очищених стічних вод становило приблизно 50 мг/л, що не задовільняє вимогам до якості очищених стічних вод. Також неефективно працює окислювальний канал очисних споруд Паромівського маслозаводу (Житомирська обл.), СВ якого характеризуються низькими значеннями рН.

Невисока ефективність роботи циркуляційних окислювальних каналів при очищенні висококонцентрованих стічних вод підприємств молочної галузі підтверджується також досвідом експлуатації очисних споруд Володимирецького молокозаводу. Очисні споруди, що включають споруди механічного очищення (механічні решітки та піскоуловлювач), циркуляційний окислювальний канал, вторинний відстійник та контактний резервуар, були побудовані одночасно із підприємством. В процесі експлуатації очисних споруд

було виявлено ряд недоліків даної технології. По-перше, через відсутність у схемі очисних споруд усереднювача в циркуляційному каналі постійно спостерігалась загибель активного мулу при залповому надходженні стічних вод від казеїнового цеху та цеху по виробництву сиру. При цьому різко погіршувалась ефективність роботи вторинного відстійника (спуваючий активний мул не осідав, а утворював суцільний шар на поверхні споруди). По друге, в зимовий період часто спостерігалось обмерзання поверхні аератора, а через зменшення об'ємів стічних вод у цю пору року відбувалась марна затрата електроенергії на обертання ротора. Через високі концентрації забруднень у стічних водах молокозаводу процеси самоокиснення мулу у циркуляційному каналі практично не відбувались, внаслідок чого виникала проблема утворення значної кількості осадів, здатних швидко загнитися. Врешті-решт через незадовільний ефект очищення стічних вод по основним показникам та високі енерговитрати на обробку стоків підприємство змушене було відмовитись від експлуатації власних очисних споруд і скидати СВ на міські очисні споруди.

Отже, використання методів активного мулу при очищенні стічних вод молокозаводів виявляється проблематичним через особливості складу стічних вод.

### **1.2.3 Очищення стічних вод підприємств молочної галузі з допомогою метанового бродіння**

Мікробіологічна конверсія органічних речовин у паливо офіційно признана як важливе джерело поповнення енергетичних ресурсів [84]. Наступні дослідження метанового бродіння все більше проводилися в напрямку розвитку технології очищення концентрованих стоків і паралельно з цим здійснювалися дослідження, пов'язані з виробництвом кормових концентратів вітаміну B<sub>12</sub> на відходах харчової і бродильної промисловості. Узагальнення результатів цих досліджень приводилися в ряді робіт у вигляді публікацій статей, монографій і дисертацій [8, 10, 35, 86, 87, 88]. В процесі досліджень з'ясувалося, що для прискорення процесу метанового бродіння, його доцільно проводити при

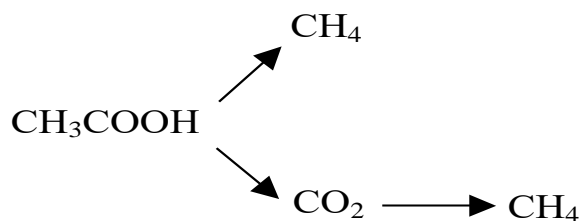
високій температурі – близько 50 °С. Раніш, при використанні метанового бродіння, для збродження осадів або при одержанні добрив на це не зверталось уваги, оскільки час обробки нічим не лімітувався. Однак в технології очищення, як і в будь-якій технології, час здійснення процесу, на якому основана технологія, має велике значення для продуктивності апаратури та в інших відносинах. Дуже вдалим виявилось те, що збудники метанового бродіння здатні здійснювати свою життєдіяльність при підвищеній температурі, при цьому обмін речовинами в них відбувається набагато інтенсивніше, ніж у звичайних умовах, в яких розвивається більшість мікроорганізмів. В зв'язку з цим у дослідженнях і в практиці очищення стічних вод і переробки відходів на метан використовується термофільне метанове бродіння [8, 75, 76, 88]. Таким чином, метанове бродіння тепер розглядається як один з факторів охорони навколишнього середовища [84] і джерел отримання біогазу [82, 83, 84]. Найбільш реально в даний час повсюдне впровадження технологій очищення концентрованих стоків з одночасним виробництвом метану на першій стадії очищення. Цьому питанню вже присвячено досить багато робіт. У багатьох випадках вони представлені як анаеробне очищення [85, 86, 87, 88, 89, 90], хоча це не зовсім правильно, оскільки повне очищення стічних вод в анаеробних умовах не відбувається. У культуральній рідині залишається певна кількість органічних речовин, що є кінцевим продуктом обміну метаноутворюючих бактерій. Для їх видалення необхідне доочищення води в аеробних умовах. На перший погляд це ускладнює технологію очищення, однак доочищення після метанового бродіння не йде ні в яке порівняння з аеробним очищенням вихідної стічної води без застосування анаеробної стадії: остання дозволяє знизити концентрацію забруднення на 80÷90, а часто на 95%, що різко зменшує витрати на доочищення.

В ряді робіт згадувалося про особливості і певні труднощі в процесі здійснення комплексних технологій очищення стічних вод [81, 82, 83]. Проте, розвиток цих технологій продовжується. Найбільш глибоко вивчається процес метанового бродіння в зв'язку з його використанням одночасно для очищення

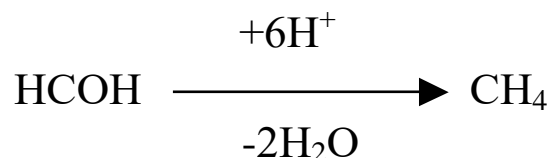
стічних вод, отримання метану і вітаміну В<sub>12</sub> [8]. В Україні ці дослідження проводилися в зв'язку з організацією виробництва кормового концентрату вітаміну В<sub>12</sub>. Спочатку передбачалося робити цей вітамін на первинній мелясно-спиртовій барді [8], потім було прийняте рішення створювати це виробництво на вторинних відходах після вирощування кормових дріжджів на первинній барді, тобто на вторинній мелясній барді [75]. Ці відходи різні по кількості органічних речовин, що в них містяться, хоча за якісним складом вони близькі, оскільки отримані при переробці однієї первинної сировини – меляси.

Розробка технології супроводжувалася дослідженнями шляхів інтенсифікації процесу метанового бродіння з метою підвищення виходу вітаміну В<sub>12</sub> і інших продуктів бродіння. Для пошуків шляхів інтенсифікації необхідно було досліджувати біохімію і мікробіологію процесу метанового бродіння. Цим питанням, у тому числі механізму утворення метану, присвячена велика кількість досліджень [88, 89]. Узагальнення даних про механізм утворення метану і мікробіології метанового бродіння спочатку було проведене Г.Баркером [89]. Знаючи про те, що кінцевими продуктами анаеробного процесу є летучі жирні кислоти (ЛЖК), зокрема оцтова кислота, автор прийшов до висновку, що ЛЖК і є попередниками утворення метану. При цьому автор виходив з чисто хімічних міркувань про те, що такі прості окислені речовини легко можуть відновлюватися в одновуглецеве з'єднання, яким і є метан (СН<sub>4</sub>).

Вважаючи, що хімізм утворення метану повинен проходити через стадію попередників простої будови, Г. Баркер зробив висновок, що попередниками і є ЛЖК, в першу чергу оцтова кислота, оскільки вона і є кінцевим продуктом анаеробного розкладання всіх органічних речовин. Однак, з хімічної точки зору, оцтова кислота при відновленні перетворюється в етанол, тому, на думку автора, вона спочатку розпадається на метан і СО<sub>2</sub>, а останній уже відновлюється в метан:



Набагато легше було б представити відновлення мурав'їної кислоти в метан:



Однак такий механізм не відповідає дійсності, оскільки мурав'їна кислота утворюється в порівняно невеликій кількості.

З усього цього можна зробити висновок, що хімізм утворення метану проходить в дві стадії, причому першу стадію бродіння здійснюють будь-які відомі анаеробні мікроорганізми, розкладаючи речовини до ЛЖК, а на другій стадії спеціальні метаноутворюючі бактерії перетворюють ЛЖК в метан. При цьому стверджується, що ці, так звані, метаноутворюючі бактерії не здатні споживати білки, жири, вуглеводи й інші загальнодоступні органічні речовини, а існують тільки за рахунок ЛЖК. Це хибне твердження виникло у автора тому, що в нього не було іншого виходу. Дійсно, якщо бактерії здатні споживати більш доступні речовини, то їм було б неприродно харчуватися енергетично малоцінними ЛЖК, що не є джерелами харчування ні для яких живих організмів. Невірне уявлення про механізм перетворення речовин у метан потягло за собою зміни загальноприйнятих положень про обмін речовин в живому організмі. З усього цього робляться зовсім невірні висновки про те, що процес утворення метану з ЛЖК забезпечує енергетичні нестатки мікроорганізмів і ці мікроорганізми не вимагають інших джерел енергії. Тим часом загальновідомо, що ЛЖК – це кінцеві продукти розпаду складних органічних речовин, з яких цілком вилучена енергія, тобто продукти, які не мають енергетичної цінності. В результаті подальших досліджень послідовники

Г. Баркера прийшли до того, що в проміжному механізмі утворення метану має значення  $\text{CO}_2$ . Був запропонований механізм відновлення  $\text{CO}_2$  у метан.

Це уявлення наближається до дійсності, однак має протиріччя у відношенні метаболізму: послідовники теорії про незвичайну спеціалізацію метаноутворюючих бактерій продовжували стверджувати, що утворення  $\text{CO}_2$  відбувається в результаті споживання ЛЖК, а для відновлення  $\text{CO}_2$  у метан бактерії використовують вільний водень, який виділяють у середовище інші мікроорганізми. Це призвело до ще більшої заплутаності класичного уявлення про обмін речовин і значення водню в енергетичних процесах. По-перше, вільний (молекулярний) водень не може брати участь у біохімічних процесах вже тому, що він повинний знаходитися в активній (іонній) формі. Іонізація молекулярного водню вимагає настільки ж великої кількості енергії, скільки її виділяється при взаємодії водневих іонів. В умовах живого організму такі витрати енергії неможливі. По-друге, утворення водню і метану повинне відбуватися в клітці одного й того ж самого мікроорганізму, вони не можуть використовувати водень, який утворюється клітинами інших мікроорганізмів. Участь водню в енергетичних процесах, як відомо, відбувається за допомогою ферментів дегідрогеназ, які відщеплюють іони водню від органічних речовин, здійснюють його перенос на кисень або інші речовини і не здатні розщеплювати молекулярний водень на іони. Це загальновідоме положення дозволяє виправити невірне уявлення про метаболізм збудників метанового бродіння і зробити висновки про те, що ці мікроорганізми споживають енергетично цінні речовини, тобто всі речовини, які є джерелом харчування будь-яких мікроорганізмів і живих істот взагалі. Мобілізуючи водень цих речовин за допомогою дегідрогеназ, вони використовують його на відбудовні процеси, що ведуть до утворення метану.

Процес утворення метану може йти різними шляхами, наприклад, в результаті відщиплення і наступного відновлення метильних груп. Головний же шлях утворення метану – відновлення одновуглецевих сполук. Мурав'їна кислота відповідає цій вимозі, але вона утворюється не завжди, а процес

утворення метану відбувається постійно і на будь-якому субстраті. Цілком логічно припустити, що головним попередником метану є  $\text{CO}_2$ , але в такому стані вуглекислий газ є інертною речовиною і не може піддаватися відновленню. Ідею відновлення  $\text{CO}_2$  підтримували послідовники Г. Баркера, вважаючи, що метаноутворюючі бактерії відновлюють  $\text{CO}_2$  молекулярним воднем будь-якого походження. На думку авторів, цього досить для задоволення енергетичних і конструктивних потреб мікроорганізмів. Однак таке автотрофне існування організму в анаеробних умовах неможливе.

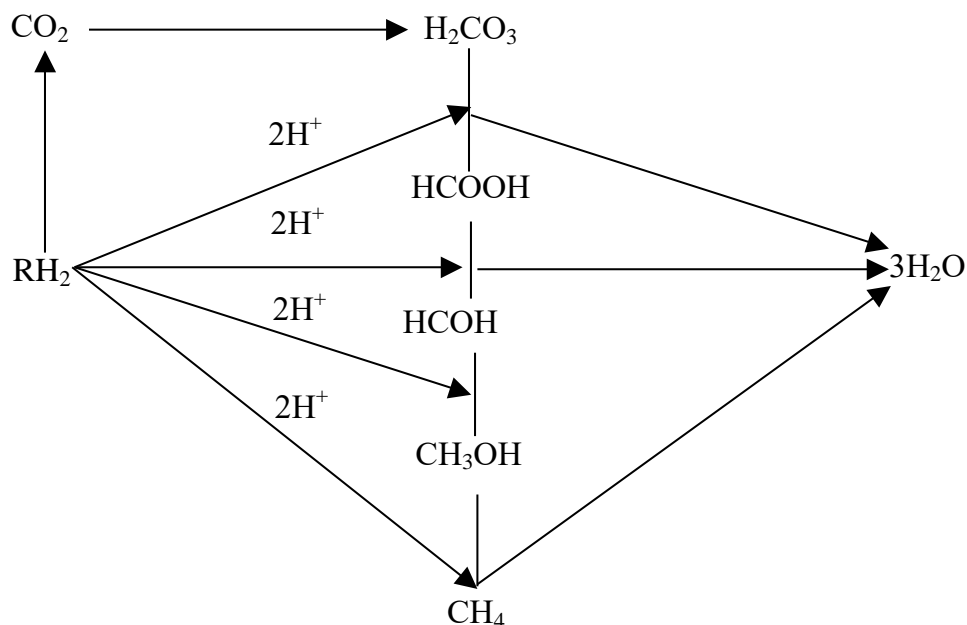
Проведено багато дослідів із продуванням суміші газів –  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$  через культуру метаноутворюючих бактерій, в яких спостерігалось утворення дуже малої кількості метану. Його створення можна пояснити споживанням органічних речовин, які містяться в культуральній рідині. При окислюванні органічних речовин бактерії мобілізують і відщепляють від них водень в активній формі, тобто у формі відновлених дегідрогеназ і направляють його на відновлення  $\text{CO}_2$ . Однак інертна, погано розчинна форма  $\text{CO}_2$  відновлюватися не може. Необхідна їй активна форма, тобто форма іонів. Це можливо у випадку наявності карбонату, який може дисоціювати на іони, тобто карбонат-іони:



Варто мати на увазі, що карбонати, тобто вугільна кислота і її солі утворюються в результаті взаємодії  $\text{CO}_2$  з водою. Відомо, що  $\text{CO}_2$ , який міститься в рідині, лише частково взаємодіє з водою (тобто вступає в хімічну реакцію з утворенням карбонату), в основному ж вуглекислий газ знаходиться просто в розчині (теж у невеликих кількостях). Карбонат-іони, що утворюються, відновлюються активним воднем у метан. Концентрація карбонат-іонів у розчині не може бути високою, оскільки з водою взаємодіє лише визначена (невелика) кількість  $\text{CO}_2$ . Взаємодія відбувається по мірі відновлення карбонат-іонів у метан. Зі зменшенням концентрації карбонат-іонів з'являється можливість подальшої взаємодії  $\text{CO}_2$  з водою. Саме це є одним з

факторів процесу, що лімітує утворення метану і пояснює причину низької швидкості метанового бродіння у порівнянні з іншими видами бродіння.

Відповідно до теорії, розробленої професором Нікітіним Г.О., редукцію карбонатів з утворенням метану можна представити наступною схемою:



Описане вище уявлення про біохімію процесу утворення метану приводить до висновку, що в даному випадку відбувається редукція карбонатів, аналогічна давно відомому процесу редукції сульфатів і нітратів. Як і в цих випадках, при метановому бродінні відбувається перенос мобілізованого водню органічних речовин на кисень карбонатів, що супроводжується утворенням АТФ, тобто є джерелом енергії. Таким чином, у природі існує ще один спосіб отримання енергії анаеробними мікроорганізмами, крім редукції сульфатів і нітратів, а саме – редукція карбонатів. Здійснюють його такі ж (і ті ж) гетеротрофні мікроорганізми, що розкладають різні органічні речовини, використовуючи в енергетичних цілях кисень карбонатів. Процеси редукції сульфатів, нітратів і карбонатів йдуть паралельно, чим і пояснюється одночасне створення сірководню, аміаку і метану при метановому бродінні змішаних субстратів.

Органічна речовина  $\text{RH}_2$  є джерелом активного водню для метаноутворюючих бактерій (як і всіх живих організмів). Передача водню на кисень карбонату дає енергію. В результаті утворюється вода (як і у випадку аеробного дихання), а продуктами відновлення є речовини на рівні мурв'їної



кислоти, альдегіду, метанолу і метану. Етапи відновлення карбонатів збігаються з тим, що пропонують інші дослідження, однак в цілому процес відбувається інакше: джерелом всього, що потрібно для життєдіяльності метаноутворюючих бактерій, є енергетично цінні органічні речовини, а самі метаноутворюючі бактерії є звичайними гетеротрофними організмами.

### 1.3 Висновки до розділу 1

1. В жодній галузі харчової промисловості не вирішена проблема очищення стічних вод. Традиційна технологія, в основі якої лежить біохімічний метод, існує давно й успішно використовується для очищення комунальних стоків в багатьох країнах і ряді міст України. Спроби використання даної технології в харчовій промисловості не дають позитивних результатів через високу концентрацію забруднень у стічних водах. Для концентрованих стічних вод розроблена нова технологія, але і її застосування поки здійснюється повільно.

2. В молочній промисловості існує і застосовується технологічна переробка вторинної сировини – сироватки. Для переробки сироватки застосовуються, головним чином, фізичні методи виділення лактози. Метанове бродіння лактози ніколи не здійснювалося. Теоретично з 1 м<sup>3</sup> сироватки, яка містить 3,5–4,0% лактози, можна отримати 15–17 м<sup>3</sup> метану, що вказує на актуальність роботи в цьому напрямку.

3. Метанове бродіння сироватки, може бути істотним джерелом біогазу. З кожного м<sup>3</sup> сироватки можна отримувати близько 15 м<sup>3</sup> метану. З огляду на те, що багато які шляхи використання сироватки є, в основному, лабораторними розробками (крім виробництва лактози і галактозно-глюкозних сиропів), можна вважати, що створення біотехнологічної переробки сироватки як вторинної сировини на біогаз дуже доцільне.

4. В умовах дефіциту газу комплексна переробка сироватки на метан, з одночасним очищенням стічної води, повинна займати одне з перших місць у напрямку утилізації вторинної сировини харчової промисловості.

## **2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ**

### **2.1 Розрахунок технологічної схеми переробки стоків і сироватки з застосуванням метанового бродіння**

Аналіз процесів метанового бродіння й аеробного доочищення загального стоку і сироватки дають підставу для впровадження інтегрованих технологій переробки цих відходів молочного виробництва як вторинної сировини. Біотрансформація цієї сировини дає можливість внести значний вклад в енергетику виробництва, одночасно вирішуючи основну екологічну проблему – очищення стічних вод. Отримані результати вказують на можливість використання двох варіантів комплексної технології, які відрізняються способом анаеробної обробки вторинної сировини. В одному випадку стічна вода і сироватка після змішування подається в метантенк, після чого здійснюється аеробне доочищення отриманої культуральної рідини. В іншому варіанті сироватка піддається метановому бродінню окремо, зброжена сироватка змішується із загальним стоком, і суміш спрямовується у вторинний метантенк, де здійснюється доочищення. Питання про доцільність проведення того чи іншого варіанта можна вирішити за допомогою розрахунків.

#### **2.1.1 Вихідні дані**

ХСК загального стоку – 3 000 мг/л, ХСК сироватки – 70 000 мг/л;

Зниження ХСК в метантенку – 80%, зниження ХСК в аеротенку – 90%;

Добова кількість загального стоку – 500 м<sup>3</sup>, добова кількість сироватки – 100 м<sup>3</sup>

#### **2.1.2 Розрахунок технологічної схеми спільної переробки загального стоку і сироватки**

В першому варіанті СВ і сироватка після змішування прямують в метантенк, після чого здійснюється аеробне доочищення отриманої

культуральної рідини. Принципова блок-схема переробки СВ і сироватки з сумісною анаеробною ферментацією виглядає так:

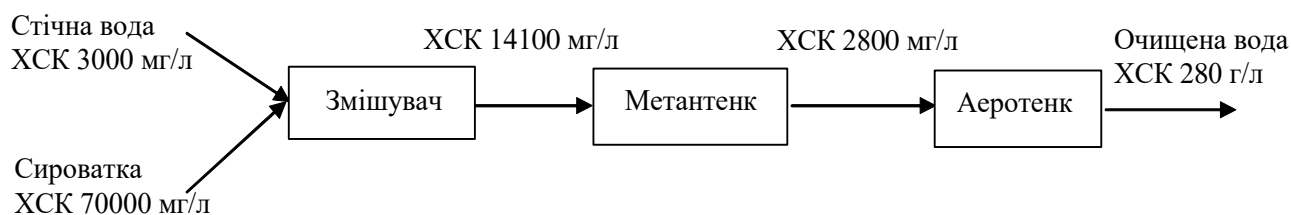


Рис. 2.1. Принципова блок-схема переробки СВ і сироватки з сумісною анаеробною ферментацією

При змішуванні стоку і сироватки ХСК суміші розраховується за формулою:

$$\begin{aligned}
 ХСК_{заг.сироватки} &= 70 \frac{\text{г}}{\text{л}} \cdot 100 \text{ м}^3 = 7000 \text{ кг} \quad (7000000\text{г}), \\
 ХСК_{заг.св} &= 3 \frac{\text{г}}{\text{л}} \cdot 500 \text{ м}^3 = 1500 \text{ кг} \quad (1500000\text{г}), \\
 ХСК_{заг.суміші} &= 7000 + 1500 = 8500 \text{ кг}, \\
 ХСК_{суміш на 1л} &= \frac{8500 \text{ кг}}{600 \text{ м}^3} = 14,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \left( \frac{\text{г}}{\text{л}} \right).
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

В процесі метанового бродіння відбувається зниження ХСК до 2800 мг/л, в процесі аеробного доочищення – 280 мг/л. Отже, цей варіант доцільно застосовувати у випадку наявності міської каналізації, яка приймає стічні води із забрудненням на рівні 300-400 мг/л по ХСК. Цей варіант має перевагу в тому, що вимагає застосування одного метантенку, що полегшує обігрів і обслуговування очисних споруд.

Через неповне очищення СВ цей варіант застосовується для скидання очищеної води лише в каналізацію. На рис. 2.3. приведена схема першого варіанта технології.

### 2.1.3 Розрахунок технологічної схеми переробки загального стоку і сироватки з роздільною анаеробною ферментацією

В другому варіанті, через високе ХСК, сироватка спочатку окремо піддається метановому бродінню, після чого культуральна рідина змішується з загальним стоком, і суміш прямує в другий метантенк для анаеробної ферментації. Отримана культуральна рідина подається на доочищення. Принципова блок-схема переробки загального стоку і сироватки з роздільною анаеробною ферментацією має такий вигляд:

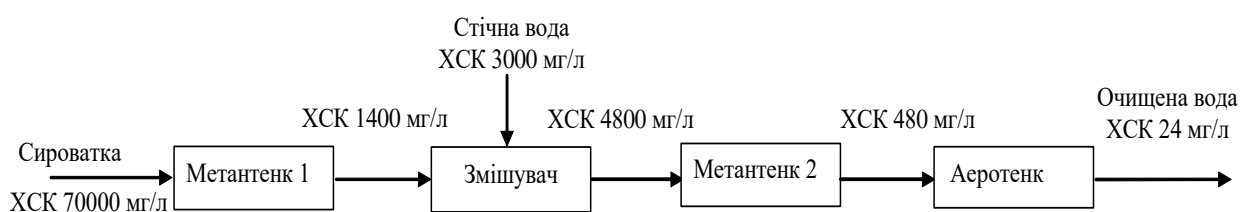


Рис. 2.2. Принципова блок-схема переробки загального стоку і сироватки з роздільною анаеробною ферментацією

Шляхом аналогічних розрахунків знаходимо:

$$\begin{aligned}
 ХСК_{\text{заг.сиров.після мет.бр.}} &= 70 \cdot 0,2 = 14,0 \frac{\text{г}}{\text{л}} \cdot 100000 = 1400 \text{ кг} \text{ (1400000 г)}, \\
 ХСК_{\text{заг.суміші}} &= 3 \cdot 500 + 1400 = 2900 \text{ кг}, \\
 ХСК_{\text{заг.на 1л}} &= \frac{2900 \text{ кг}}{600 \text{ м}^3} = 4,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \left( 4,8 \frac{\text{г}}{\text{л}}; 4800 \frac{\text{мг}}{\text{л}} \right).
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

При зниженому рівні ХСК (з урахуванням повернення мулу) можна чекати зниження на 90 %, тобто значення ХСК суміші після 2-го метантенка буде:

$$4,8 \cdot 0,1 = 0,48 \frac{\text{г}}{\text{л}}. \tag{2.3}$$

При такому низькому рівні ХСК можна чекати його зниження в процесі аеробного доочищення на 95%, тобто кінцеве  $ХСК = 480 \cdot 0,05 = 24 \frac{\text{мг}}{\text{л}}$ .

З огляду на запропоновані способи інтенсифікації, можна припустити, що другий варіант технології задовольняє вимогам скидання очищених СВ у водоймище. На рис. 2.4 приведена схема другого варіанту технології.

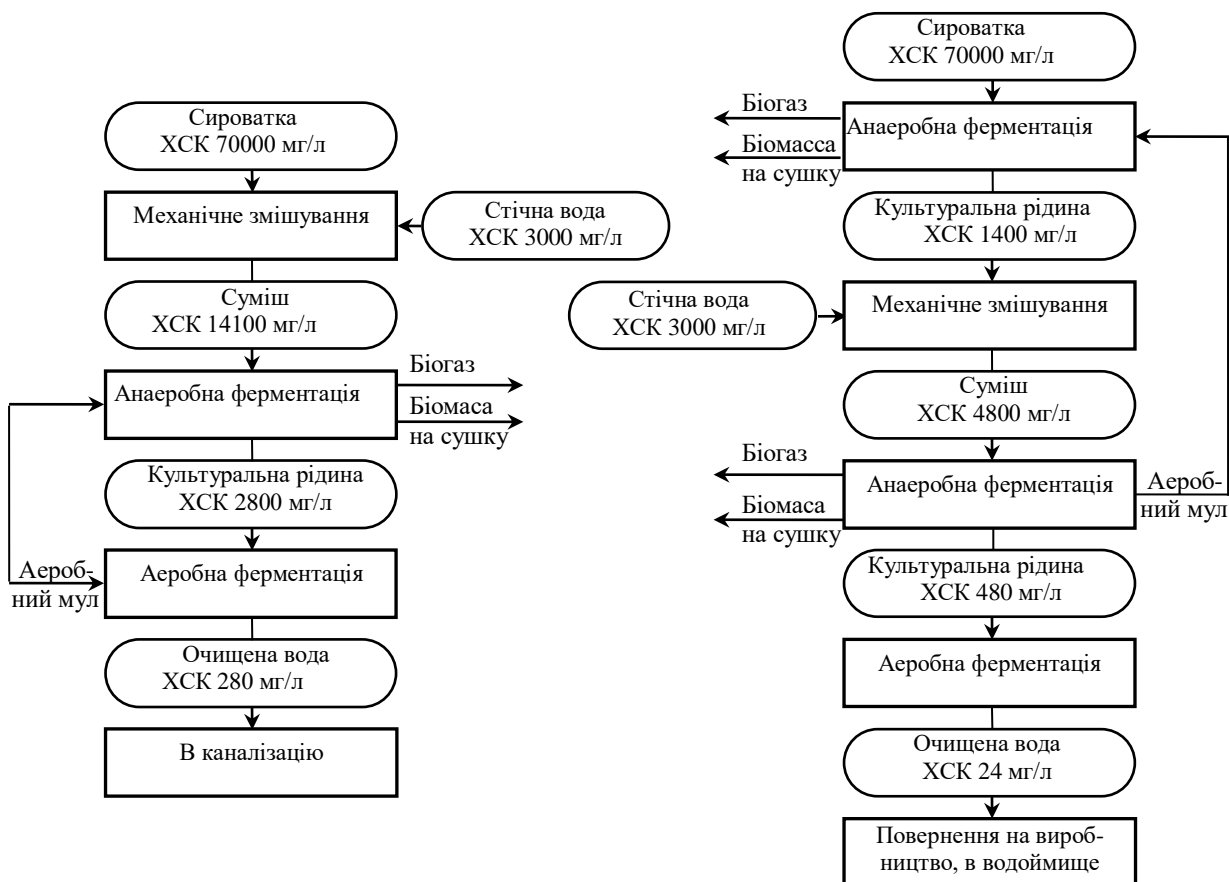


Рис. 2.3. Процесуально-технологічна схема спільної переробки загального стоку і сироватки

Рис.2.4. Процесуально-технологічна схема переробки загального стоку і сироватки з роздільною анаеробною ферментацією

Ми пропонуємо другий варіант технологічної схеми, де сироватка піддається метановому бродінню окремо, в результаті чого всі наступні стадії очищення задовольняють вимоги технології і кінцевої якості очищеної води, як показано на рис.2.2.

**Виходячи з цього, проводимо розрахунки технології:**

*Збірник стічної води: приймаємо об'єм – 200 м<sup>3</sup>.*

*Збірник сироватки: приймаємо для добової кількості сироватки – 100 м<sup>3</sup>.*

*Метантенк № 1 для збродження сироватки:*

Об'єм метантенка дорівнює добутку добової кількості сироватки (100м<sup>3</sup>) і часу збродження (3 доби):

$$W_{\text{мет.сиров.}} = Q_{\text{сиров.}} \cdot t_{\text{діб.}} = 100 \cdot 3 = 300 \text{ м}^3. \quad (2.4)$$

*Відстійник метантенку № 1: час відстоювання –  $t_{\text{відст.}} = 2$  год.;*

Годинний об'єм збродженої сироватки  $Q_{\text{годин}}$  дорівнює добовому об'єму  $Q_{\text{діб.}}$ , поділеному на 24 години –  $Q_{\text{годин}} = 100 \div 24 = 4,2 \text{ м}^3 / \text{год.}$

Об'єм відстійника дорівнює:

$$Q_{\text{годин.}} \cdot t_{\text{відст.}} = 4,2 \cdot 2 = 8,4 \text{ м}^3. \quad (2.5)$$

*Дисмембратор: приймаємо продуктивність необхідну для змішування добової кількості суміші:*

$$W_{\text{суміші.}} = (Q_{\text{св.}} + Q_{\text{сиров.}}) \div 24 \text{ год} = (500 + 100) \div 24 \text{ год} = 25 \text{ м}^3 / \text{год.} \quad (2.6)$$

*Метантенк № 2 для збродження суміші: об'єм метантенку дорівнює добутку добової кількості суміші (600 м<sup>3</sup>) і часу ферментації (2 доби):*

$$W_{\text{мет.№2}} = 600 \cdot 2 = 1200 \text{ м}^3. \quad (2.7)$$

*Відстійник метантенку № 2:*

$$W_{\text{мет.№2}} = Q_{\text{годин.суміші}} \cdot t_{\text{відст.}} = 600 \div 24 \cdot 2 = 50 \text{ м}^3. \quad (2.8)$$

*Аеротенк: об'єм аеротенку дорівнює добовому об'єму суміші, помноженому на час аерації 8 годин (1/3 доби):  $W_{\text{аер.}} = 600 \cdot 8 \div 24 = 180 \text{ м}^3.$*

*Вторинний відстійник: об'єм вторинного відстійника дорівнює годинній витраті суміші, помноженій на час відстоювання (годин):*

$$W_{\text{втор.відст.}} = Q_{\text{доб.суміші}} \div 24 \times t_{\text{год.}} = 600 \div 24 \cdot 2 = 50 \text{ м}^3$$

Запропонована схема дозволяє одержувати  $7\div 8$  тис.м<sup>3</sup> біогазу на добу, кормову мікробну біомасу й очищену воду з ХСК не більше 24 мг/л.

## 2.2 Розрахунок теплового балансу метантенків

### 2.2.1 Вихідні дані

Під тепловим балансом, в даному випадку, ми маємо на увазі кількість тепла, отриманого з усієї кількості біогазу, кількість тепла (і відповідно біогазу), що витрачається на обігрів метантенків, і надлишкова кількість тепла (біогазу), який направляється на виробництво та генерацію електро та теплоенергії.

Для теплових розрахунків необхідно знати, насамперед, витрату тепла, яка залежить від різниці температур субстрату, що підігрівається, кількості субстрату і його теплоємності, а також зіставити витрати із загальною кількістю тепла, яка отримується на виробництві.

Більшість процесів у технології молока здійснюється при кімнатній температурі. З огляду на те, що за вищевказаною схемою в другий метантенк надходить рідина з першого метантенку з температурою 45<sup>0</sup>С, а температура загального стоку – не менше 20<sup>0</sup>С, можна прийняти, що температура суміші, яка надходить в другий метантенк, дорівнює 25<sup>0</sup>С. Температуру термофільного метанового бродіння в другому метантенку, як і в першому, приймаємо рівною 45<sup>0</sup>С.

#### *Приймаємо вихідні дані для розрахунків:*

- загальний об'єм відходів (сироватка і стоки)  $V_{заг.відх} = 600 \text{ м}^3 / \text{доб}$ ;
- температура зброджуваних відходів  $t_{відх} = 25^0 \text{ C}$ ;
- температура зброджувальної рідини в метантенках  $t_{мет.} = 45^0 \text{ C}$ ;
- теплотворна здатність біогазу метану  $q = 6000 \text{ ккал} / \text{м}^3$ ;
- теплові втрати  $Q_{втрати} = 5\%$ ;

- теплоємність зброджуваної рідини (близька до теплоємності води)

$$C = 1 \text{ ккал} / \text{м}^3 \cdot \text{град} = 1000 \text{ ккал} / \text{м}^3 \cdot \text{град}; \quad (2.9)$$

- кількість біогазу  $V_{\text{доб.мет.}} = 6000 \text{ м}^3/\text{доб}$  (за умови, що кожен  $\text{м}^3$  сироватки дає  $15 \text{ м}^3$  біогазу, а кожен  $\text{м}^3$  суміші дає –  $7,5 \text{ м}^3$  біогазу).

## 2.2.2 Розрахунок теплового балансу

### *I варіант:*

Робимо розрахунки загальної кількості тепла, яке витрачається на підігрів усієї кількості зброджуваних відходів і загальної кількості тепла, одержуваного в результаті метанового бродіння за добу.

Витрата тепла на підігрів відходів:

$$Q_{\text{випр.}} = V_{\text{заг.відх.}} \cdot C(t_{\text{мет.}} - t_{\text{отх.}}) \cdot 1,05 = 600 \cdot 1000(45 - 25) \cdot 1,05 = 12\,600\,000 \frac{\text{ккал}}{\text{доб}} \quad (2.10)$$

Загальна кількість тепла від утилізації метану:

$$Q_{\text{мет.}} = V_{\text{доб.мет.}} \cdot q = 6000 \cdot 6000 = 36\,000\,000 \frac{\text{ккал}}{\text{доб}} \quad (2.11)$$

Кількість надлишкового тепла від утилізації біогазу:

$$Q_{\text{надл.}} = 36\,000\,000 - 12\,600\,000 = 23\,400\,000 \frac{\text{ккал}}{\text{доб}},$$

тобто (2.12)

$$\frac{23\,400\,000}{36\,000\,000} \cdot 100 = 65\% .$$

Кількість надлишкового метану:

$$V_{\text{мет.}} = 0,65 \cdot 6000 = 3900 \text{ м}^3 / \text{доб} \quad (2.13)$$

### *II варіант (спрощений):*

На підігрів  $1 \text{ м}^3$  відходів потрібно  $(1000 \cdot 20) \cdot 1,05 = 21\,000 \text{ ккал}$  тепла.

$1 \text{ м}^3$  відходів, в середньому, дає  $10 \text{ м}^3$  біогазу, що відповідає кількості тепла

$$10 \cdot 6000 = 60\,000 \text{ ккал}. \quad (2.14)$$

Надлишкове тепло з  $1 \text{ м}^3$  відходів:



$$60\,000 - 21\,000 = 39\,000 \text{ ккал.},$$

тобто

$$\frac{39\,000}{60\,000} \cdot 100 = 65\%.$$

(2.15)

Кількість надлишкового метану:

$$V_{\text{мет.}} = 0,65 \cdot 6\,000 = 3\,900 \text{ м}^3 / \text{доб}$$

(2.16)

### 2.3 Економічне обґрунтування впровадження технології очищення стічних вод і виробництва біогазу на підприємствах молочної галузі

Розрахунок економічної ефективності базується на підрахунку збитків від забруднення водних об'єктів органічними речовинами (по ХСК).

#### *Початкові дані для розрахунку:*

Загальна кількість стічних вод на заводі  $Q$  – 600 м<sup>3</sup>/добу (25 м<sup>3</sup>/год);

Середнє БСК<sub>5</sub> стічних вод молочного заводу – 12 500 мг/л;

БСК<sub>5прип.</sub> – припустима концентрація органічних забруднень для скидання у водоймище – 15 мг/л.

Величина збитків від забруднення водних об'єктів органічними речовинами  $Y_{\text{БСК}}$ , з урахуванням категорії водних об'єктів, визначається по формулі:

$$Y_{\text{БСК}}^y = Z_{\text{БСК}}^y \cdot K_{\text{кат}}, \text{ тис. грн.}$$

(2.17)

де  $Z_{\text{БСК}}^y$  – величина збитків від забруднення водних об'єктів при встановленому скиданні органічних речовин, виражених у ХСК, тис. грн.

Значення  $Z_{\text{БСК}}^y$  приймається в залежності від маси скинутих органічних забруднень –  $P_{\text{БСК}}$  ;

$K_{\text{кат}}$  – коефіцієнт, що враховує категорію водного об'єкта, у який скидаються стічні води.

Маса скинутих забруднюючих речовин  $P_{\text{БСК}}$  розраховується по формулі:

$$P_{ХСК} = Q \cdot (БСК_{факт} - БСК_{прип}) \cdot t \cdot 10^{-6} \text{ т.} \quad (2.18)$$

де  $Q$  – кількість стічних вод, м<sup>3</sup>/год;

$БСК_{факт}$  – середня концентрація забруднюючих речовин за період скидання, г/м<sup>3</sup>;

$БСК_{прип}$  – припустима концентрація забруднюючих речовин, г/м<sup>3</sup>;

$t$  – тривалість скидання, годин.;  $t=7200$  год. за умови 10 місячної роботи підприємства в рік.

Перерахунок маси забруднюючих речовин, яка виражена в  $БСК_{повн}$ , розраховується по формулі:

$$P_{БСК_{повн}} = P_{БСК} \cdot 1,33 \text{ т.} \quad (2.19)$$

Визначаємо масу скинутих забруднюючих речовин:

$$P_{БСК} = 600 \cdot (12\,500 - 15) \cdot 7\,200 \cdot 10^{-6} = 53\,928 \text{ т,}$$

$$P_{БСК_{повн}} = 53\,928 \cdot 1,33 = 71\,724 \text{ т}$$

Прийmemo значення  $З^y_{БСК}$ , яке дорівнює 1 500 тис.грн.

Приймаємо  $K_{кат}=1,1$ .

$$Y_{БСК}^y = 1\,500 \cdot 1,1 = 1\,650 \text{ тис. грн.}$$

Загальний економічний ефект від впровадження технології очищення стічних вод  $E$  визначається за формулою:

$$E = Y_{БСК}^y - (E_n \cdot K_b), \text{ тис. грн.} \quad (2.20)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності,  $E_n = 0,15$ ;

$K_b$  – капітальні витрати на будівництво,  $K_b = 800$  тис. грн.

Таким чином, загальний економічний ефект буде складати:

$$E = 1\,650\,000 - (0,15 \cdot 800\,000) = 1\,530 \text{ тис. грн.}$$

Річний економічний ефект при впровадженні комплексної технології очистки складає 1 530 тис. грн.

Середньодобова кількість надлишкового біогазу складе 4 000 м<sup>3</sup> на добу (1 200 000 м<sup>3</sup> на рік). Прибуток від використання біогазу складе 381,6 тис. грн. на рік.

Повний річний економічний ефект складає:

$$E = 1530 + 381,6 = 1911,6 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином, окупність очисних споруджень складає:

$$T_{\text{ок}} = \frac{800}{1911,6} = 0,42 \text{ року.}$$

## 2.4 Висновки до розділу 2

1. Проведено розрахунок переробки СВ і сироватки. Перший розрахунковий варіант передбачає спільне метанове бродіння СВ і сироватки з наступним аеробним доочищенням. Другий варіант (спрощений) – метанове бродіння СВ і сироватки з наступним аеробним доочищенням. Кінцеве ХСК очищеної води становить 24 мг/л, що припустимо для скидання у водоймище. Впровадження будь-якого варіанту технології дасть змогу підприємству з об'ємом переробки молока 100 т щодоби одержувати до 4 000 м<sup>3</sup> біогазу.

2. Техніко-економічні розрахунки виробництва біогазу з відходів підприємств молочної галузі виконано на основі рекомендацій по визначенню економічної ефективності використання нової техніки та винаходів у будівництві і комунальному господарстві. В результаті економічний ефект від впровадження даної технології на підприємстві з об'ємом переробки молока 100 т/добу складе 1530 тис. грн., окупність 0,42 року, при капітальних витратах – 800 тис. грн.

## 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Процес метанового бродіння відходів підприємств молочної галузі

Метанове бродіння цікавило вчених здавна. Воно вивчалось в зв'язку зі з'ясуванням питання біотрансформації рослинних залишків у природі. Особливий інтерес представляють процеси розпаду клітковини, що не піддається розкладанню практично ніякими живими організмами. Виявилось, що в природі існують окремі види мікроорганізмів, здатні засвоювати клітковину (целюлозу). Було виявлено, що розвиток таких мікроорганізмів відбувається в анаеробних умовах (без доступу кисню), при цьому утворюється паливий газ – метан. Можливість перетворення рослинних залишків, які вміщують целюлозу, у метан викликає величезний інтерес з погляду практики і теорії утворення метану, величезна кількість якого зібралася в надрах Землі. Протягом більш ніж 100 років проводилися ці дослідження, в результаті яких з'ясувалося, що метановому бродінню піддаються всі природні органічні речовини. Інтерес до метанового бродіння клітковини поступово спадає і наростає у відношенні біотрансформації інших органічних речовин. Це пов'язано з тим, що бродіння клітковини йде повільно, а природна клітковина (деревина) розкладається дуже важко через те, що волокна клітковини захищені лігніном та іншими речовинами, які майже не піддаються мікробній деструкції. Наука про метанове бродіння пішла по більш легкому, але не зовсім вірному шляху – використанню субстратів, що легко піддаються метановому бродінню. Паралельно з дослідженням різних субстратів необхідно було шукати способи підготовки рослинних залишків для інтенсивного розкладання клітковини і мікроорганізмами. У підсумку вийшло так, що в даний час ми знаємо використовуємо багато можливостей перетворення більшості органічних речовин у метан, крім головної – виробництва метану на основі використання величезної кількості рослинних матеріалів, що накопичилися у вигляді відходів

промисловості і сільського господарства. Така думка сформувалася тільки тепер, на стадії енергетичної кризи, коли стало зрозуміло, що від вдалого пошуку нових джерел енергії залежить подальший розвиток промисловості.

Молочна сироватка містить велику кількість корисних речовин. При створенні молока у виробництві сиру з нього витягують білок – казеїн, інші розчинені в молоці речовини, залишаються в сироватці. Серед цих речовин найбільшу кількість складає лактоза. Її концентрація коливається в межах 3,5-4,5% у залежності від того, який спосіб застосовується для осадження казеїну – ферментативний чи із застосуванням молочнокислих заквасок. В останньому випадку частина лактози зброджується молочнокислими бактеріями. При ферментативному осадженні казеїну в розчин, тобто в сироватку, переходить частина гідролізованого казеїну у вигляді амінокислот і пептидів. Пояснюється це тим, що для ферментативного осадженого казеїну рідко застосовується істинний ренін через його дефіцит. Його одержують із шлунка телят, переробка яких спеціально для виробництва реніну, природно, не може бути. Це відбувається при змушеному вибої телят, не придатних, через хворобу, для подальшого вирощування. Замість цього роблять заміник реніну із шлунку свиней - пепсин. Усі заміники реніну проявляють не тільки створюючу дію на білок (розрив єдиного зв'язку між фенілаланіном і метіоніном), але гідролізують й інші зв'язки, в результаті чого утворюються низькомолекулярні продукти гідролізу, що переходять у сироватку.

Існують різні способи переробки сироватки (крім безпосереднього використання в корм худобі). З неї одержують лактозу, яку використовують для різних цілей. Із сироватки одержують молочну кислоту шляхом молочного бродіння. Існує технологія виробництва спирту на основі сироватки, хоча така технологія не є раціональною через низький вміст спирту в отриманій спиртовій бражці. Залишкові білки й інші речовини сироватки використовуються для виробництва м'яких сирів і інших продуктів. Із сироватки роблять різні напої. Усе це свідчить про те, що сироватка містить багато цінних речовин і є сировиною для виробництва вторинних продуктів. Перше місце серед цих речовин займає лактоза, яка використовується для різних виробництв, основаних на ферментації. Великий інтерес являє одержання продукту,

збагаченого вітаміном  $B_{12}$ , на основі використання сироватки. Загальне значення цього вітаміну в організмі людини добре відомо. Він бере участь у найважливішому процесі метаболізму – переносі метильних груп. Цей вітамін використовується у тваринництві, де його називають фактором тваринного білка: збагачення кормів цим вітаміном сприяє збільшенню приросту ваги тварин на 10-12%. Найважливіша роль вітаміну  $B_{12}$  для людини полягає в тому, що він бере участь у кровотворному процесі, а саме – у процесі біосинтезу червоних кров'яних тілець. Це важливо в цілому для всіх людей, однак, особливе значення це має для людини, яка піддається радіаційному опроміненню. В результаті цього, як відомо, настає важко виліковне захворювання – лейкозія (білокрів'я) і інші побіжні захворювання, що у цілому називаються анемією. Проте в природі живих істот склалося дивне протиріччя: вітамін  $B_{12}$ , один з найважливіших вітамінів для людини й тварин, не синтезують ніякі живі організми, крім деяких мікробів. В рослинному кормі він відсутній. В організмі тварин він частково накопичується в окремих органах, головним чином, у печінці, в результаті утворення його мікроорганізмами шлунково-кишкового тракту. Для домішок у корм тварин цей вітамін виробляється порівняно просто – шляхом культивування мікроорганізмів на дешевих відходах переробної промисловості. Для людини, тобто для виробництва медичних препаратів вітаміну  $B_{12}$  потрібна інша, дорога технологія, оскільки для лікування необхідно застосовувати високо-очищений кристалічний препарат. Для широкого використання можна виробляти різні харчові продукти, збагачені вітаміном  $B_{12}$ . Цей напрямок успішно розвивається в даний час. Для цього використовуються пропіонові бактерії. Для виробництва кормового вітаміну  $B_{12}$  використовують, як відомо, метанове бродіння. Пропіонове бродіння для одержання кристалічного препарату проводиться на багатому середовищі з глюкозою. Для одержання продукту, збагаченого вітаміном  $B_{12}$ , використовують харчові відходи, у т.ч. молочну сироватку. Передумовою для цього послужило те, що вітамін  $B_{12}$  синтезується в процесі дозрівання сиру, а цей процес здійснюють пропіонові бактерії, що споживають залишки лактози і молочну кислоту, що міститься в сирній масі. Було цікаво інтегрувати два процеси на середовищі, що містить сироватку – метанове

бродиння як джерело утворення метану і вітаміну В<sub>12</sub> і культивування пропіонових бактерій, для яких доступним джерелом живлення є компоненти молочної сироватки – лактоза, молочна кислота та інші. Об'єднання цих процесів дозволяє усунути один недолік, пов'язаний з культивуванням пропіонових бактерій. В процесі росту вони накопичують пропіонову кислоту, що різко підвищує кислотність культуральної рідини. Це стримує розвиток пропіонових бактерій. Для усунення цього недоліку доводиться підлужувати культуральну рідину протягом всього періоду пропіонового бродиння.

Однією з особливостей метанового бродиння є, як відомо, високе значення  $pH$ , тобто підвищення лужності середовища. Отже, метанове бродиння може компенсувати небажане підвищення кислотності внаслідок розвитку пропіонових бактерій.

Проблема переробки молочної сироватки ніколи не вирішувалася шляхом біотрансформації за допомогою метанового бродиння. Ціллю мікробної переробки було одержання продуктів аеробної ферментації чи неповного анаеробного розкладання вуглеводів (органічних кислот, спирту, ферменту лактази та інше).

Питання про переробку сироватки з використанням метанового бродиння не ставилося по різних причинах. По-перше, значення нових джерел пального газу стало актуально для України лише після того, як країна перейшла на самостійний шлях розвитку. По-друге, застосування метанового бродиння до сировини, що містить високу концентрацію вуглеводів, по сформованим (об'єктивним) уявленням, зустрічає перешкоди, про які говорилося вище. Що стосується одержання різних продуктів із сироватки – органічних кислот, спирту та інших (крім ферменту лактази), то для цього існують інші, великомасштабні виробництва, і переробка сироватки на ці продукти є лише способом утилізації цього відходу (вторинної сировини).

Метанове бродиння, застосовуване в усіх галузях харчової промисловості, має інше значення. Воно використовується як основна стадія комплексного очищення стічної води одночасно для одержання біогазу, використання якого покриває значну частину (а іноді цілком) енергетичну

потребу заводу. У випадку метанового бродіння сироватки переважним є другий напрямок.

Нашою метою є з'ясування максимальної кількості біогазу, що може бути отриманий з молочної сироватки. Інша мета – дослідження оптимальних режимів збродження сироватки (оптимальної швидкості ферментації, технологічних показників метанового бродіння та інше). Дослідження динаміки концентрації забруднень (ХСК, БСК) в даному випадку не мало значення, оскільки стічна вода, яка утворилася після метанового бродіння сироватки, повинна поступати на доочищення (найбільш імовірно, разом із загальним стоком заводу). Можливий і інший варіант – сполучення сироватки і загального стоку для метанового бродіння з метою одержання біогазу з наступним аеробним доочищенням. Причому, значна частина метану, який утворюється із загального стоку, обумовлена наявністю лактози. Про це ж свідчить досвід із розведеною молочною сироваткою.

В табл.3.1 і на рис.3.1 приведені дані за 10-денний період метанового бродіння сироватки.

Таблиця 3.1

Динаміка утворення біогазу в процесі метанового бродіння натуральної сироватки (початкова концентрація лактози в сироватці – 3,8%, об'єм добової заміни культуральної рідини – 5%)

Показники	Число заміни культуральної рідини сироваткою									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм виділених газів, л/л	15,2	14,9	15,0	15,5	17,0	15,8	15,5	16	16,5	17,0
Співвідношення CO <sub>2</sub> : CH <sub>4</sub> , % : %	16:84	15:85	15:85	10:90	12:88	10:90	16:84	15:85	12:88	12:88
Кількість метану, л/л	12,8	12,7	12,8	14,0	15,0	13,5	13,0	13,6	14,5	14,0



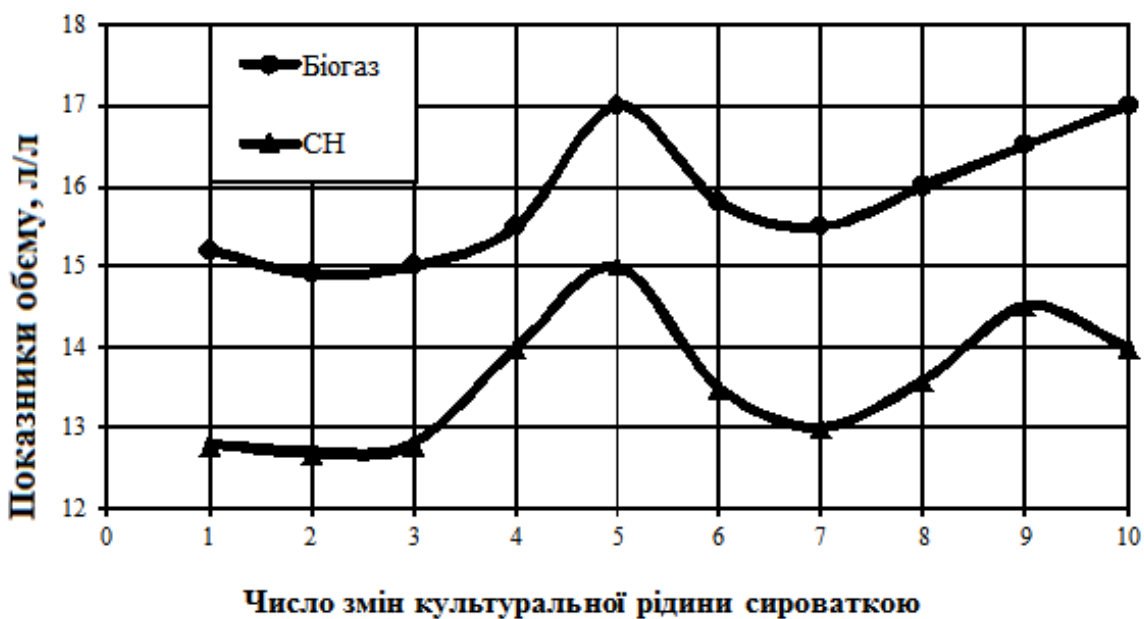


Рис. 3.1. Динаміка утворення біогазу в процесі метанового бродіння сироватки при мінімальному потоку ( $D=0,0021 \text{ год}^{-1}$ )

Відносну стабільність газоутворення видно на рис.3.1, де крива утворення газів майже рівнобіжна осі координат. Невелика тенденція напрямку кривої вгору свідчить про те, що з часом активний мул адаптується до зброджуваного субстрату, і трансформація речовин у біогаз стає найбільш повною.

Біогаз складався майже цілком із метану, вуглекислого газу в ньому близько 13%, так, як і чистого метану, який використовується в побуті, тобто очищення біогазу для практичного застосування не потрібне.

Таким чином можна вважати, що при метановому бродінні сироватки утворюється істотна кількість біогазу. Це значно перевищує вихід біогазу при переробці стічних вод і різних відходів харчових виробництв. З іншого боку, кількість сироватки невелика в порівнянні з кількістю стічної води будь-якого підприємства, у т.ч. молокозаводу. Проте, об'єм біогазу, отриманого тільки із сироватки, для заводу, що переробляє  $100 \text{ м}^3$  молока на молочному виробництві, включаючи сир, складає більше  $1500 \text{ м}^3$  на добу, тобто 1,5 тони умовного палива на добу чи близько 45 тон на місяць. Якщо завод скидає до  $80 \text{ м}^3$  стічних вод щодня, із яких можна отримати до 4–5 тис.  $\text{м}^3$  біогазу, то,

переробляючи їх спільно (чи окремо) із сироваткою, він може мати щомісяця до 180 тонн умовного палива за рахунок виробництва біогазу.

Питання про те, як зброджувати стічну воду і сироватку, спільно чи окремо, вирішується для кожного виробництва по-різному. В ряді випадків може статися ситуація, коли економічно недоцільно будувати великі очисні споруди для очищення всього загального стоку. В такому випадку варто провести заходи щодо окремого збору найбільш забрудненої стічної води (наприклад, від миття технічного обладнання), змішувати їх із сироваткою і піддавати метановому бродінню в порівняно невеликих апаратах. Основну кількість загального стоку зі зниженим вмістом забруднень скидати в каналізацію чи на очисні споруди сусіднього підприємства (разом із стічною водою, отриманою після метанового бродіння сироватки). В тому випадку, якщо вирішується питання переробки стічних вод і сироватки на одному заводі, можливі два варіанти: спільне метанове бродіння, і наступне аеробне доочищення, або окреме метанове бродіння з наступним спільним аеробним доочищенням.

### **3.2 Розробка технологічної схеми переробки і очищення стоків та молочної сироватки з виробництвом біогазу**

Технологічний процес переробки і очищення СВ підприємств молочної галузі з виробництвом біогазу складається з наступних стадій:

- вилучення великих часток на пісколовках;
- вилучення жиру на жироловках;
- змішування, нейтралізація та регулювання потоку стічних вод в збірнику-накопичувачі-нейтралізаторі;
- підігрівання сирих стоків в теплообміннику;
- анаеробна обробка в метантенку I ступеня;
- анаеробна обробка в метантенку II ступеня;
- вилучення біогазу;
- охолодження зброджених стоків в теплообміннику;

- освітлення стічних вод;
- вилучення органічних забруднень і біогенних елементів;
- видалення відпрацьованої біомаси із стічних вод.

### 3.2.1 Апаратурно-технологічна схема та її опис

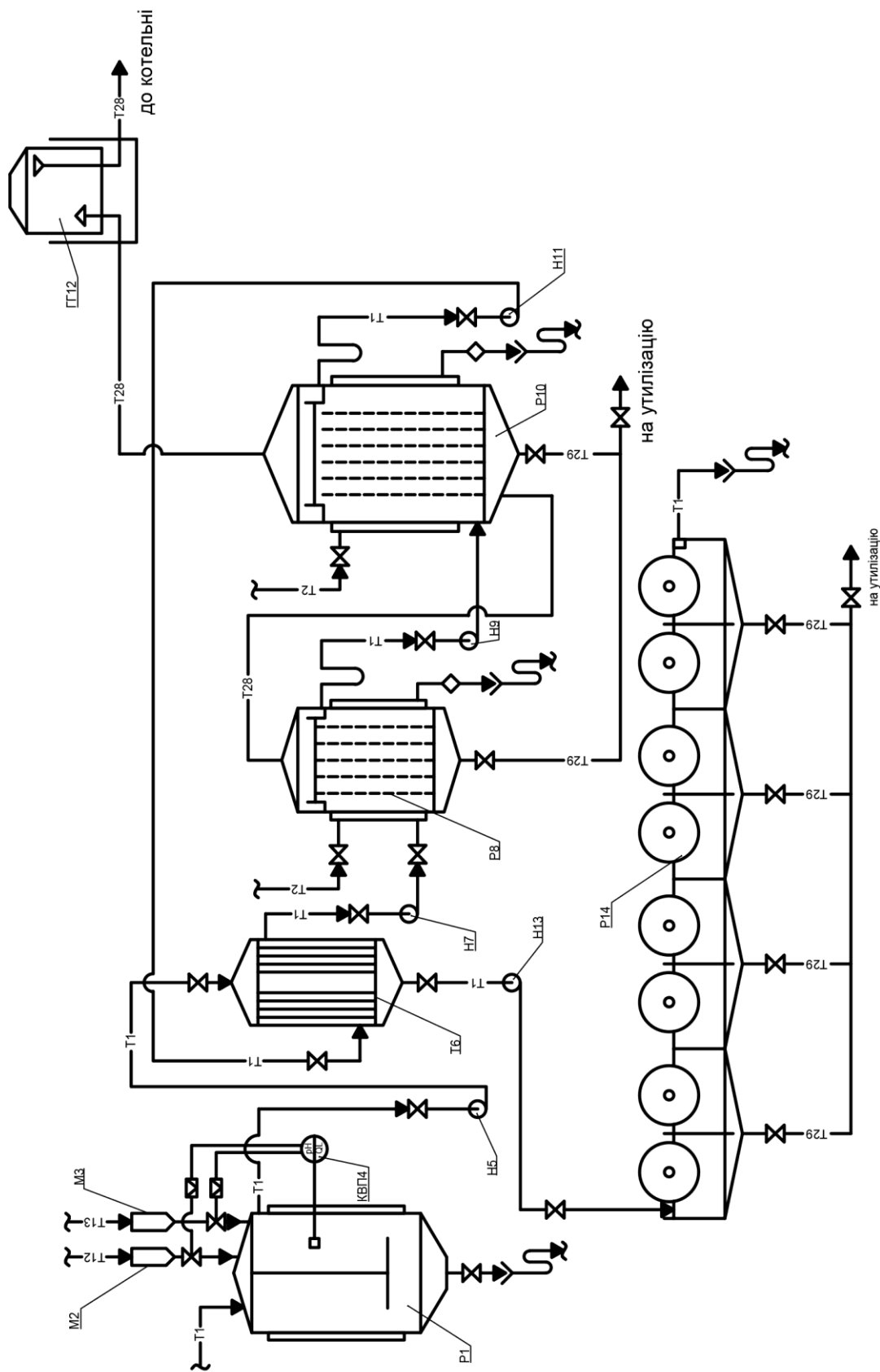
На рис.3.2 показано апаратурну схему переробки вторинної сировини, а саме, стічної води і сироватки молокозаводу. Як відходи на заводі утворюється молочна сироватка.

Щоб дотримуватися масштабів апаратів, умовно прийнято продуктивність заводу з переробки молока – 100 м<sup>3</sup>/добу. Отже, завод повинен скидати близько 90 м<sup>3</sup> сироватки, кількість СВ становитиме 500 м<sup>3</sup>/добу. Переробка вторинної сировини здійснюється за інтенсивною технологією з параметрами: тривалість метанового бродіння сироватки – 3 доби; тривалість метанового бродіння суміші стоку і СВ – 2 доби; аеробне доочищення – 8 годин, час відстоювання – 2 години.

За даною схемою сироватка з ХСК 70000 мг/л і стічні води після жироловки надходять у змішувач - нейтралізатор **P1**, де відбувається їх змішування та нейтралізація до оптимального значення рН. Нейтралізовані стоки подаються до теплообмінника **T6**, у якому стічні води підігріваються за рахунок теплоти стічних вод, оброблених у метантенку II стадії, надходять у метантенк I стадії **P8** і далі через запірний пристрій, який створює водяний замок для запобігання виходу газу, потрапляють у метантенк II стадії **P10**, де відбувається доброджування стоків.

Біогаз, що утворюється під час біотрансформації органічних речовин, що містяться в стоках, з метантенка **P8** трубопроводом **T28** пропускається крізь культуральну рідину метантенка **P10** і надходить через газові лічильники у газгольдер **ГГ12**, звідки проходить ділянку очищення газу і використовується для виробничого процесі.

Зброджена культуральна рідина з метантенка **P10** надходить у теплообмінник **T6**, у якому теплота оброблених у метантенку стічних вод передається свіжому стоку,



T1 - вода; T2 - кислота; T12 - луг; T28 - біогаз; T29 - активний мул; P1 - збірник-нейтралізатор; M2 - вимірник кислоти; M3 - вимірник луку; КВП4 - компенсаційний рН-метр; H5, H7, H9, H11, H13 - насос відцентровий; P8, P10 - теплообмінник; P8, P10 - метантенк; ГТ12 - гаазольдер; P14 - аеротенки

Рис. 3.2. Апаратурно-технологічна схема переробки і очищення стоків та молочної сироватки з виробництва

а охолоджена зброджена культуральна рідина з температурою  $\sim 45^{\circ}\text{C}$  направляється для доочищення в аеротенки **P14**. Аеробна ферментація відбувається з поверненням активного мулу. Після освітлення у відстійнику очищену воду з ХСК до 24 мг/л можна повертати на виробництво чи скидати у водоймище.

Надлишковий активний мул з метантенків **P8** і **P10** та аеротенків **P14** через трубопровід T29 може бути направлений на зневоднення та подальшу утилізацію.

Теплова енергія біогазу використовується на виробництво пару, електроенергії та підігріву теплообмінної води низького потенціалу. Частина тепла іде на підігрів метантенків, а інша – використовується у виробництві. Для зменшення кількості біогазу, що йде на самозабезпечення теплом процесів, доцільно використовувати теплову енергію теплообмінної води високого температурного потенціалу  $65 - 70^{\circ}\text{C}$ , з виробничого процесу. Після використання теплообмінної води низького температурного потенціалу  $30 - 45^{\circ}\text{C}$  в калориферах та метантенках її слід направляти на теплову утилізацію в градирні.

Автоматичний моніторинг процесу проводиться АСУТП за допомогою комп'ютерної системи SCADA з використанням контрольних приладів: датчик плотноміру, датчик рН-метра, датчик рівня, термометр з пневмопередачою, регулятор тиску. Управління технологічного процесу виконується програмно-апаратним комплексом до складу якого входить ПК, програмний контролер, виконуючі механізми. Програмна підтримка забезпечується прикладними контрольнo-діалоговими програмами Monitor PRO та PL7PRO під Windows 7. Регулювання режимів процесу виконується шляхом зміни потоку рідини з використанням мембранно-виконуючих механізмів – пневмоклапанів.

Розрахунки обладнання, яке використовується в технологічній схемі проведені в другому розділі дипломного проекту формули 2.4 – 2.8.

### 3.2.2 Вилучення великих часток та жиру

До великих часток відносяться різні предмети (шматки паперу, матерії, скалки скла і т.п.), що потрапляють до каналізації і переносяться потоком стічних вод. Ці предмети можуть деформувати робоче колесо насоса і засмітити комунікації, тому їх необхідно вилучити до надходження стоків на очисні споруди на вертикальних механічних ґратах, як показано на рис.3.3.

З метою запобігання ушкодження насосів у проект закладені насоси-дробарки.

Нерухомі ґрати являють собою металеву раму, всередині якої встановлений ряд рівнобіжних стрижнів прямокутного січення 6мм на 60мм, поставлених на шляху руху стічних вод із зазорами 16мм, рис.3.4.

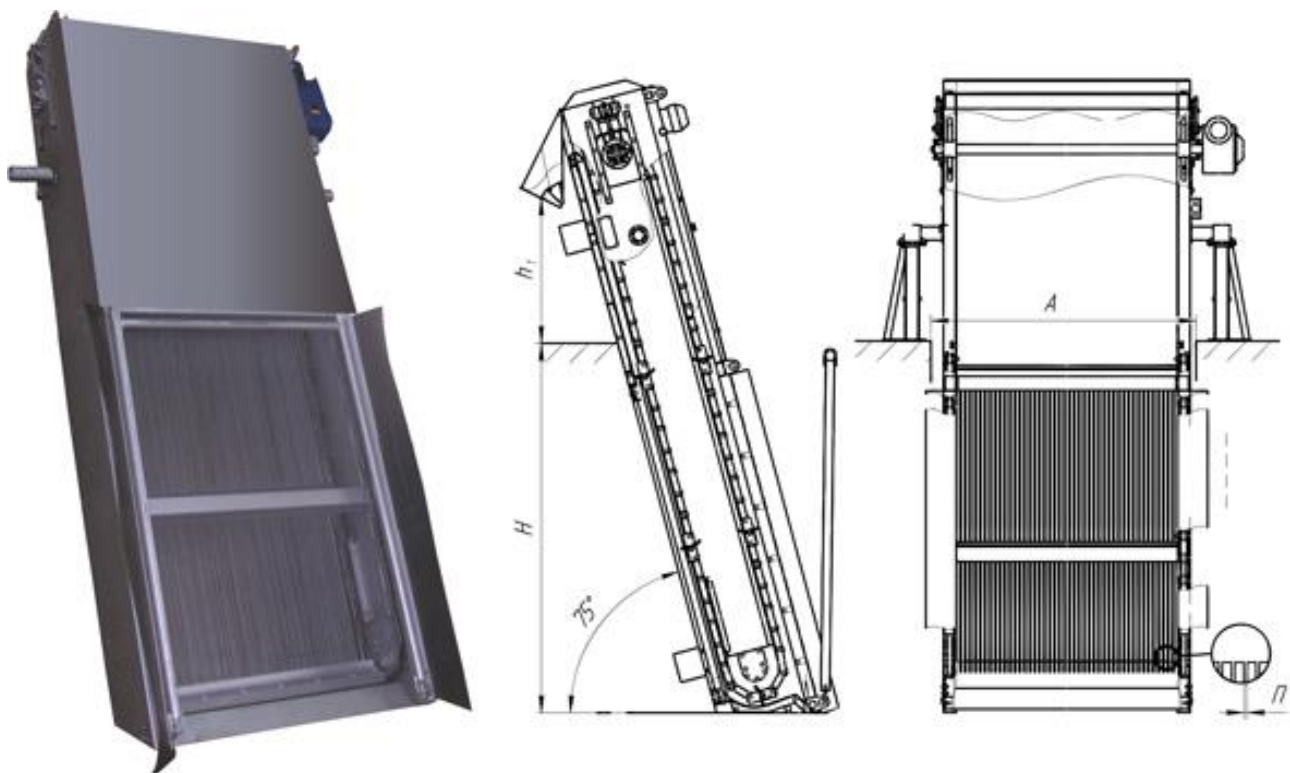


Рис. 3.3. Вертикальні механічні решітки



Рис. 3.4. Грати механічних решіток

Рама встановлена в пазах, зроблених у бокових стінках лотка, що дозволяє при необхідності легко знімати її і замінити іншою. З метою запобігання продавлювання часток крізь грати швидкість протікання стічних вод не повинна перевищувати 0,8-1,0 м/с. Вилучення часток з ґрат виконується не рідше 2 разів на добу ручним способом спеціально виготовленими граблями. Для зручності вилучення забруднень грати встановлені під кутом  $75^\circ$  (рис.3.3). Вилучені з потоку стічних вод частки падають на перфорований майданчик для стоку захопленої з ними рідини, після чого переносяться в герметичний контейнер. Не рідше ніж через 4 доби робиться вивезення часток, що зберігаються в контейнері, на міський смітник. У теплу пору року після кожного вибору часток у контейнер з решіток вони посипаються хлорним вапном. Замовник може замінити механічні грати на кошик вловлювання великих часток. Технологія вловлювання відповідає принципу роботи ґрат.

Вилучення жиру здійснюється в жироловках рис.3.5.

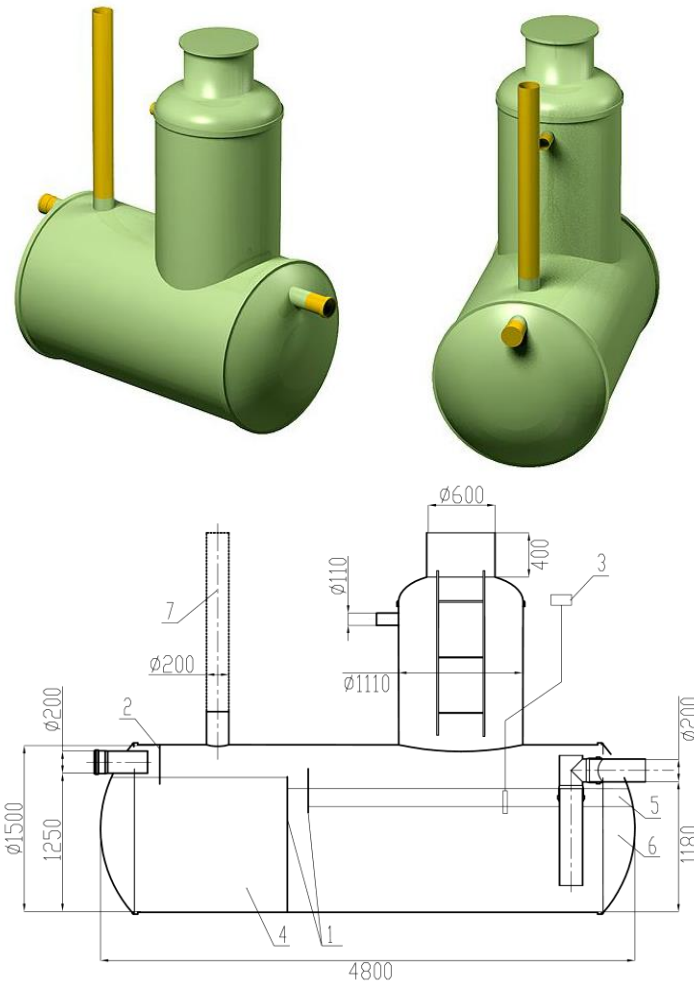


Рис. 3.5. Жироловка горизонтальна

1 – перегородки; 2 – відбійник; 3 – вимірювальний пристрій; 4 – стічні води; 5 – шар жиру; 6 – робочий об'єм; 7 – розвантажувальний патрубок.

### 3.2.3 Змішування, нейтралізація та регулювання потоку стічних вод

Регулювання потоку стічних вод відбувається в збірнику - накопичувачі-нейтралізаторі (рис. 3.6), де одночасно проходить змішування стічних вод та їх нейтралізація до оптимального значення рН.



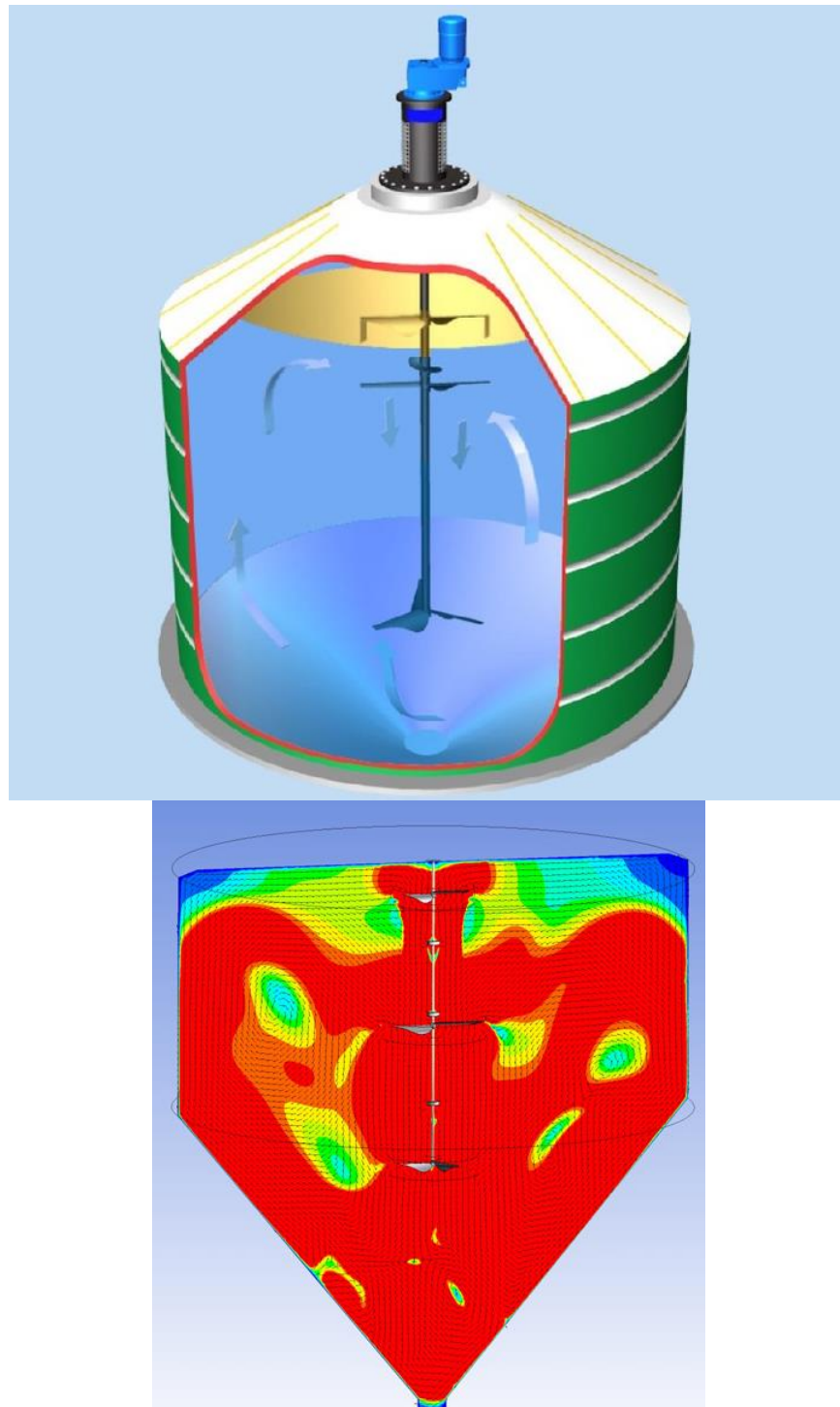


Рис. 3.6. Загальний вигляд збірника – накопичувача - нейтралізатора

### 3.2.4 Підігрівання стоків в теплообміннику

Підігрівання стічних вод з  $45\pm 2^{\circ}\text{C}$  до  $55\pm 2^{\circ}\text{C}$  відбувається в теплообміннику, в якому стічні води підігріваються за рахунок віддачі тепла від оброблених в

метантенку II стадії стічних вод які потім надходять до метантенку I стадії, як показано на рис.3.7.

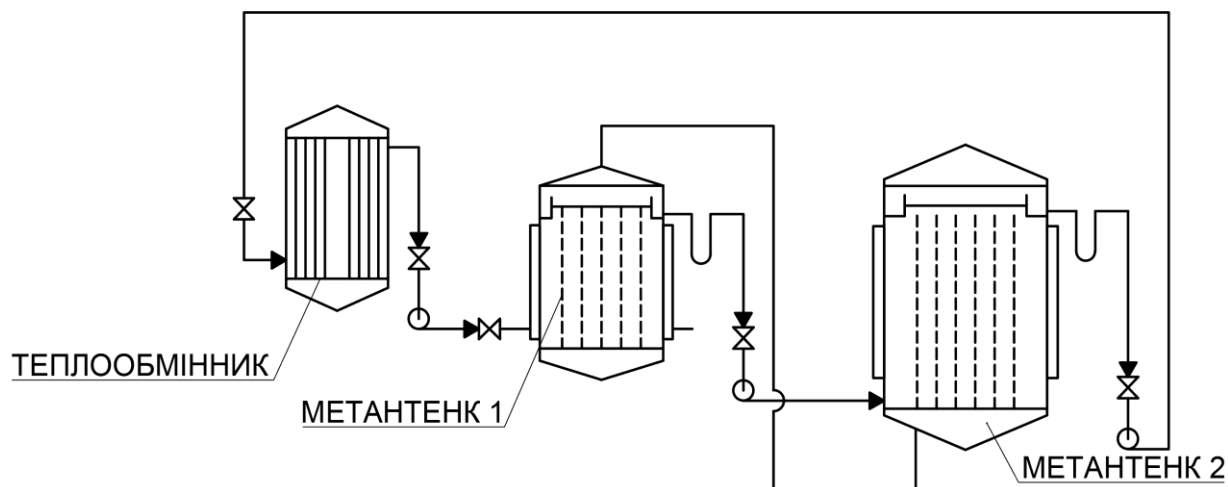


Рис. 3.7. Підігрівання стічних вод в теплообміннику

### 3.2.5 Анаеробна обробка в метантенках I та II стадії

Попереднє зброджування суміші нагрітих висококонцентрованих стічних вод і сироватки здійснюється в системі метантенків, яка включає дві стадії збродження. На першій стадії відбувається біотрансформація складних органічних забруднень, присутніх в стоках, на більш прості сполуки з незначним утворенням біогазу. Культуральна рідина та утворений біогаз з I метантенку подаються в нижню частину II метантенку.

Загальний вигляд метантенку показано на рис.3.8.

На другій стадії метанового бродіння відбувається більш глибоке анаеробне очищення стічних вод з утворенням біогазу із більшим вмістом метану.

Підігріті нейтралізовані стоки та біогаз з I метантенку через запірний пристрій, який створює водяний замок з тим, щоб не виходив газ, поступають до метантенку II ступеня, де відбувається добродження стоків. Біогаз, що утворюється при біотрансформації органічних речовин, присутніх в стоках, з I метантенку пропускається через культуральну рідину II метантенку і надходить до газгольдеру,



Рис. 3.8. Загальний вигляд метантенку

звідки, проходячи ділянку очищення газу, використовується для технологічного процесу підприємства, як показано на рис.3.9.

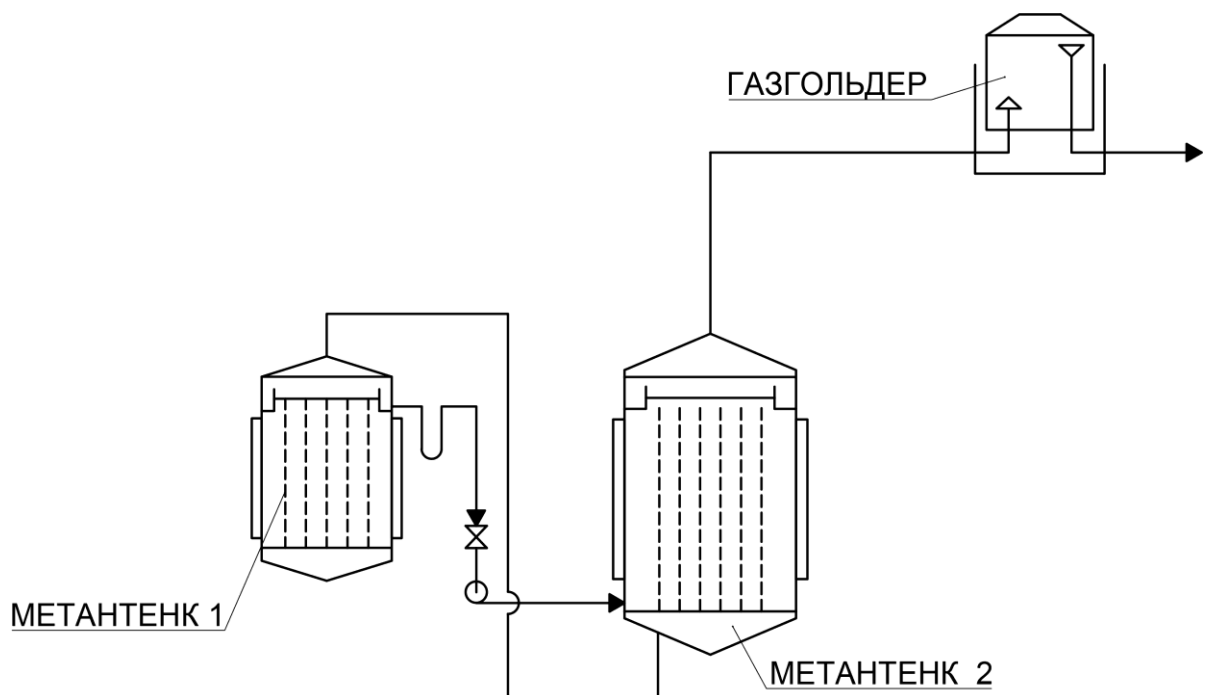


Рис. 3.9. Схема анаеробної обробки в метантенках I та II стадії

Теплова енергія біогазу використовується на виробництво пару, електроенергії, високопотенційних димових газів та підігріву теплообмінної води

низького потенціалу. Частина тепла іде на підігрів метантенків, а інша – використовується у виробництві.

Для комбінованого вироблення теплової й електричної енергії використовують когенераційну установку.

Когенераційними установками (КУ) називаються установки, що одночасно виробляють електричну й теплову енергію. Вони складаються із двигуна, генератора, теплообмінників, модуля керування, комунікаційних систем.

КУ є ефективною альтернативою тепловим мережам, завдяки гнучкій зміні параметрів теплоносія залежно від вимог споживача в будь-який час року. Вона не схильна до залежності від економічного стану справ у великих теплоенергетичних компаніях. КУ виробляє електроенергію й теплову енергію в співвідношенні ~1:1,2.

Отже, для наших цілей ми можемо запропонувати біоенергетичну установку, технічні характеристики якої приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

#### Основні технічні характеристики мініелектростанції БКГПЭА-400

№	Найменування характеристики, параметра показника	Значення
1	2	3
1	Позначення: заводське по стандарту	БКГПЭА-400 АП400-Т400-ІР
2	Тип електроагрегата	Газопоршневий
3	Номінальна потужність (н.у.), <i>кВт</i>	360
4	Максимальна потужність, <i>кВт</i>	360
5	Частота обертання на номінальній потужності, <i>об/хв</i>	1500
6	Мінімально стійка частота обертання (х.х.), <i>об/хв</i>	500
7	Максимальна частота обертання холостого ходу, <i>об/хв</i>	1300

Продовження таблиці 3.2.

1	2	3
8	Струм	Змінний, трифазний
9	Напруга, <i>B</i>	400
10	Частота, <i>Гц</i>	50
11	Коефіцієнт потужності (індуктивний)	0,8
12	Розхід газу в номінальному режимі, <i>м<sup>3</sup>/год</i>	120
13	Питомий розхід масла (угар) в номінальному режимі, <i>кВт/год</i>	1,55
14	Маса електроагрегата суха, <i>кг</i>	1800
15	Габаритні розміри, <i>мм</i>	
	довжина	2500
	ширина	1200
	висота	1700
16	Ресурс до капітального ремонту, <i>год</i>	20000

БКГПЭА-400 одночасно з виробництвом електричної енергії ,виробляє і теплову яка використовується для потреб в технологічному процесі виробництва біогазу так може використовуватись для потреб допоміжного господарства заводу та сторонніх споживачів.

Для зменшення кількості біогазу, що йде на самозабезпечення теплом процесів, доцільно використовувати теплову енергію теплообмінної води високого температурного потенціалу 65 – 70 °С , з виробничого процесу (ВП). Після використання теплообмінної води низького температурного потенціалу 30 – 45°С в калориферах та метантенках її слід направляти на теплову утилізацію в градирні.

Загальний вигляд когенераційної установки показано на рис.3.10.

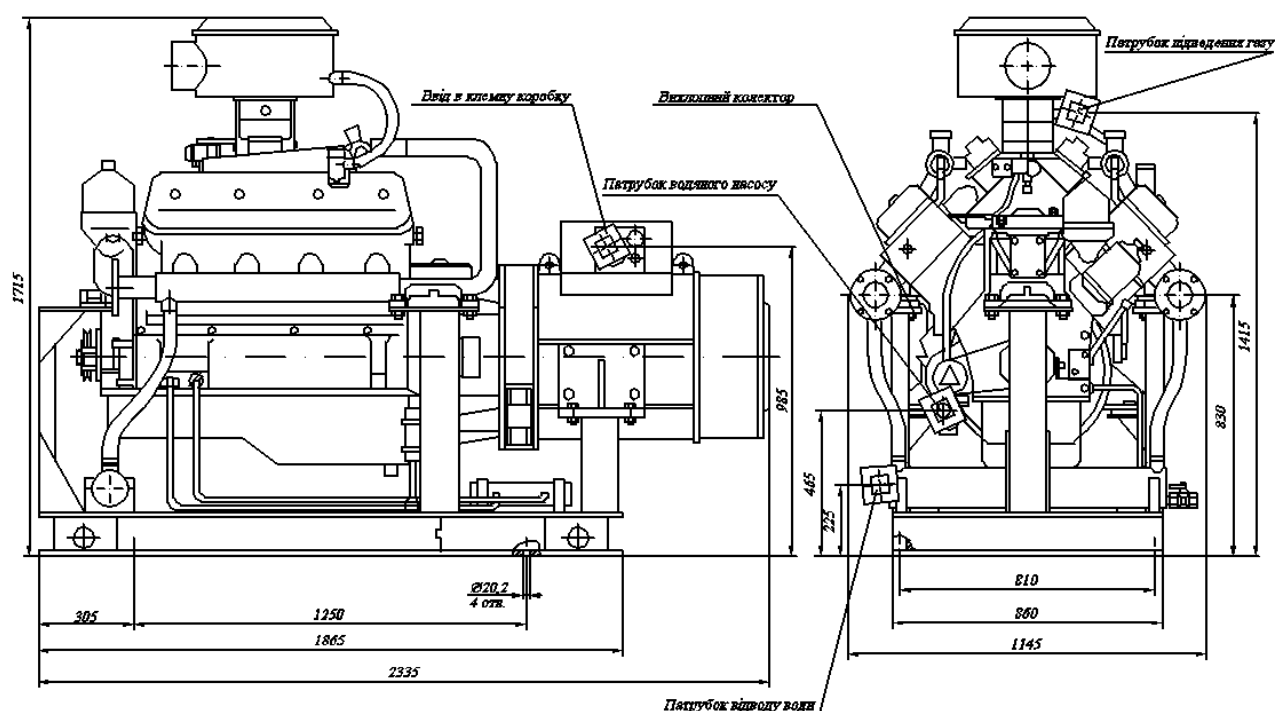


Рис. 3.10. Загальний вигляд когенераційної установки

### 3.2.6 Контроль та управління процесами анаеробного бродіння

Для процесів анаеробного бродіння виділяють три температурних режими, дотримання в межах яких є необхідною умовою безперервного вироблення біогазу і життєдіяльності метаноутворювальних бактерій.

Також до обмежувальних умов належить максимальна температура нагрівального елемента, яка не може перевищувати  $60^{\circ}\text{C}$ . Нагрівання субстрату відбувається за рахунок передачі тепла води, що протікає через нагрівальний елемент.

Для зменшення енерговитрат і збільшення виходу біогазу необхідно контролювати і регулювати такі величини: температуру поверхні нагрівального елемента; температуру субстрату в трьох шарах – верхньому, середньому і нижньому; швидкість перемішування. Для контролю і управління параметрами анаеробного бродіння в біореакторі пропонується така схема управління (див. рис 3.12).

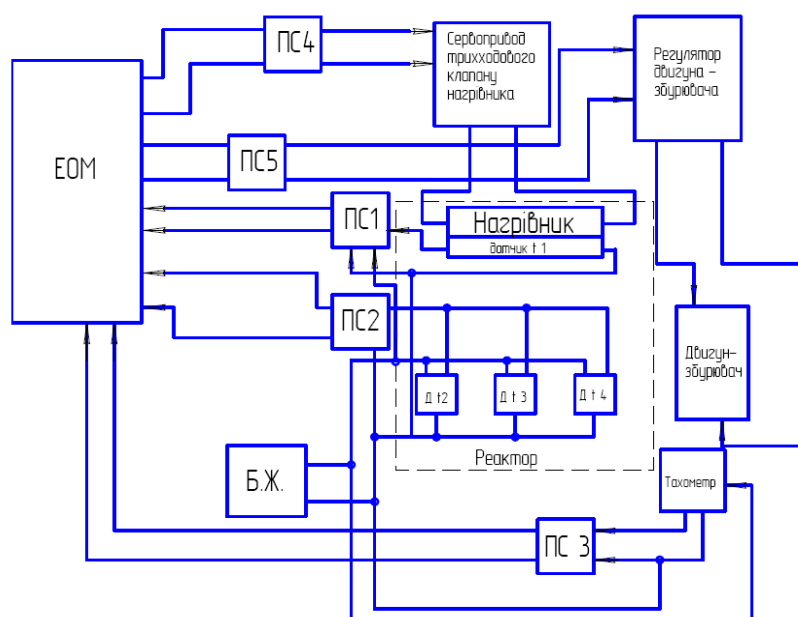


Рис. 3.11. Схема інформаційних зв'язків між технологічними елементами біогазової установки

Б.Ж. – блок живлення; ПС1 - ПС5 – пристрої спряження;  $t_1, t_2, t_3, t_4$  – датчики температури.

Температура субстрату відслідковується датчиками  $t_2, t_3, t_4$ , температура поверхні нагрівника - датчиком  $t_1$ . Заданими датчика  $t_1$  сервопривід триходового клапана подачі теплоносія на нагрівник регулює ступінь підмішування зворотного теплоносія.

За показами всіх температурних датчиків згідно з закладеною програмою в ЕОМ відбувається управління – збурювачем перемішувань субстрату за допомогою частотного регулятора. Кількість обертів двигуна відслідковується тахометром. Для передачі інформації в ЕОМ від датчиків і тахометра призначені пристрої спряження ПС1-ПС3. Для передачі сигналів керування від ЕОМ до сервоприводу і частотного регулятора призначені пристрої спряження ПС4-ПС5.

Для недопущення замерзання теплоносія у контурі циркуляції і зупинки реактора, триходовий клапан працює в режимі малого контуру циркуляції теплоносія, підтримуючи температуру вищою за температуру замерзання. Відслідковування аварійних ситуацій відбувається за допомогою датчика  $t_1$ .

Коли температура на ньому знижується до  $+10...+15$  °С, подається сигнал на закривання сервоприводом клапана. У випадку, коли температурний градієнт між нагрівальною поверхнею і субстратом починає зростати, активізується перемішування середовища за рахунок збільшення частоти обертання двигуна. Регулювання кількістю обертів двигуна здійснюється за допомогою частотного перетворювача. Визначення кількості обертів двигуна виконується індукційним тахометром.

### **3.2.7 Освітлення та аерація стічних вод**

Метою аеробного доочищення є остаточне зниження концентрації забруднень, до норм скидання очищеної стічної води у водоймище. Що стосується скидання в міську каналізацію, то ці норми (300-500 мг/л по ХСК) можуть бути досягнуті на першій стадії очищення, тобто за допомогою метанового бродіння. Однак розміщення молочних підприємств на перспективу не відповідає темпам розвитку каналізаційної мережі в містах, де можуть бути розташовані молочні заводи. Розвиток каналізацій знаходиться в прямій залежності від будівництва загальноміських очисних споруд. Відомо, що в багатьох містах і селищах міського типу в даний час очисні споруди взагалі відсутні. Якщо ж уявити, що відновлення і ріст економіки дозволить в певний час здійснити будівництво очисних споруд у більшості міст, це не звільняє від необхідності очищати стічні води до норм скидання безпосередньо у водоймище, оскільки молочні заводи будуть розташовуватися там, де створення каналізаційної мережі, тобто міських очисних споруд узагалі недоцільно.

Для видалення із стічних вод нерозчинних забруднень технологічною схемою передбачена зона освітлення в першій секції аеротенків (рис.3.12).



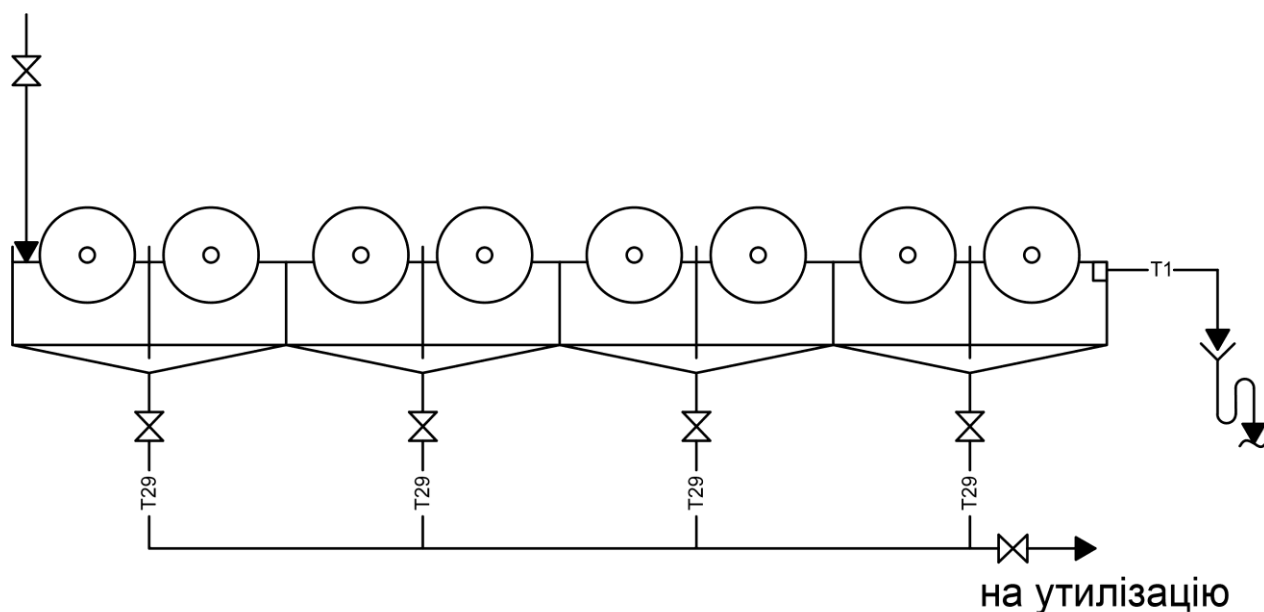


Рис. 3.12. Схема аерації стічних вод молокозаводу

Аеротенки являють собою резервуари, в яких повільно рухається суміш активного мулу і стічної води, що очищається. Для кращого і безупинного контакту вони постійно перемішуються за допомогою стиснутого повітря. Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів-мініералізаторів в аеротенк повинний безупинно надходити кисень (рис.3.13).



Рис. 3.13. Загальний вигляд аеротенків

### 3.2.8 Видалення відпрацьованої біомаси із стічних вод

Ступінь очищення стічних вод залежить від кількості модулів і визначається тривалістю перебування стічних вод у аеротенках. Зона освітлення в I секції аеротенків призначена для вилучення з біологічно очищених стоків відокремленої біомаси та осаду, що надходить із свіжими стоками. Конструктивне виконання зони освітлення і зони зброджування осаду із стоків, що надходять, є сутністю процесу освітлення в них стічних вод, аналогічно протіканню процесів у первинних і вторинних відстійниках і зброджуванню в метантенку. Розвантаження осаду повинне проводитися не рідше 1 рази в 35 діб .

### **3.3. Висновки до розділу 3**

1. Наведена схема, що поєднує обробку стоків у метантенку та аеротенку, є найбільш раціональною для очищення стічних вод молочних підприємств і дає змогу отримати показники очищеної води, що відповідають нормативним вимогам при скиданні стоків у каналізацію міста, а також отримати біогаз для використання на потреби підприємства.

2. Застосування модульної технології для очищення висококонцентрованих СВ дає можливість розширювати та реконструювати очисні споруди шляхом додавання модулів без зупинки в їх роботі.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Охорона праці та техніка безпеки при виробництві біогазу та експлуатації біогазових установок

#### 4.1.1 Заходи безпеки при виробництві біогазу

Біогаз за токсикологічною характеристикою відноситься до речовин 4 класу небезпеки відповідно до ГОСТ 12.1.007 – 76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

Біогаз відноситься до групи речовин, здатних утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші, для біогазу конкретного складу концентраційні межі спалахнення визначають відповідно до ГОСТ 12.1.044 – 89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

Нижню межу вибухонебезпеки суміші біогазу полігонів побутових відходів з повітрям приймають - 4%, верхню межу вибухонебезпеки - 12%. Категорія вибухонебезпечної суміші - ПА - Т1.

Гранично допустима концентрація метану біогазу у повітрі робочої зони дорівнює  $300 \text{ мг/м}^3$  в перерахунку на вуглець відповідно до ГОСТ 12.1.005 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Гранично допустима концентрація сірководню в повітрі робочої зони -  $10 \text{ мг/м}^3$ , сірководню в суміші з метаном -  $3 \text{ мг/м}^3$ .

Вихлопні гази від когенераційної установки відводяться вихлопним трубопроводом в атмосферу на висоту, що забезпечує їх рівномірне розсіювання.

Звукоізоляція когенераційної установки здійснюється за допомогою шумозахисного капоту або контейнера у поєднанні з високоефективним глушником. Керування такими установками здійснюється з віддаленого пульта управління.

Замкнута система охолодження двигуна виключає утворення виробничих стоків та скид води у систему каналізації.

Пожежогасіння здійснюється первинними засобами пожежогасіння: встановленням повітряно-пінного вогнегасника з площею гасіння 30 м<sup>2</sup>, встановленням ящика з піском. Крім того, для пожежогасіння мають бути використані засоби полігона, встановлені з розрахунку на 5000 м<sup>2</sup> один пожежний щит (стенд). Комплектацію щита треба приймати відповідно до НАПБ А.01.001-2004 «Правил пожежної безпеки в Україні»

Безпека персоналу забезпечується:

- використанням обладнання із закритими рухомими частинами;
- теплоізоляцією нагрітих поверхонь, в результаті чого температура в місцях, з якими можливо стикання, не може перевищувати 45<sup>o</sup>C;
- конструктивним захистом від вибухів на всіх вузлах установки;
- споруди має обслуговувати спеціально навчений персонал такий, що має кваліфікаційну групу відповідно до НПАОП 40.1-1.21-98 «Правил безопасной эксплуатации электроустановок потребителей»

Складання та затвердження інструкцій, умови їх перегляду здійснюють відповідно до вимог НПАОП 0.00 - 4.15 - 98. «Положення про розробку інструкцій з охорони праці»

Проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці повинно проводитися відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 - 94. «Типовое положение о порядке проведения обучения и проверки знаний по вопросам охраны труда»

Заходи із захисту від шкідливого та небезпечного впливу статичної електрики треба здійснювати відповідно до НПАОП 0.00-1.29 – 97 «Правила захисту від статичної електрики». Засоби захисту працівників від небезпечного та шкідливого впливу статичної електрики повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.124 – 83 «Система стандартів безпеки праці. Засоби захисту від статичної електрики. Загальні технічні вимоги».

#### 4.1.2 Правила безпеки при експлуатації біогазових установок

Обладнання, яке використовує газ, по якому він подається, регулюється та обліковується, належить до об'єктів підвищеної небезпеки і вимагає особливої обережності при експлуатації. Біогаз це той же горючий газ, як і так природний газ, тільки в природному газі метану більше 90% а в біогазі - 45-75%. Метан легший за повітря. При кімнатній температурі і нормальному атмосферному тиску практично не вступає в хімічні реакції. Другий значний за обсягом компонент біогазу – вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ).

На підприємствах, що використовують газ як паливо, наказом роботодавця призначаються особи, відповідальні за безпечну експлуатацію газового господарства, а для забезпечення нагляду за його технічним станом створюється газова служба, або ці функції по договору виконує районна служба газового господарства. Газопроводи, газорегуляторні пункти і газорегуляторні установки, що розташовані на території та в приміщеннях підприємства, працюють під тиском до 0,6 МПа. Тому їх експлуатацію треба здійснювати у відповідності із затвердженими Держнаглядохоронпраці України «Правилами безпеки в газовому господарстві».

Працівники, що експлуатують газові установки, проходять періодичну перевірку знань з безпечних прийомів роботи щорічно, а інженерно-технічні працівники – один раз на три роки.

Приміщення, де розташовують газові установки, обов'язково обладнуються спеціальними автоматичними звуковими та світловими індикаторами, або сигналізаторами наявності вибухонебезпечних концентрацій газу у повітрі, а також постійно діючою приточно-витяжною вентиляцією та аварійною вентиляцією.

Усі дефекти в роботі газових об'єктів усуваються тільки після припинення подачі газу. Місце роботи огорожують і охороняють. Роботи у газонебезпечних місцях повинні виконувати не менше двох робітників при

наявності протигазів, а у газових колодязях чи котлованах – ще й при наявності страхового пристрою.

#### **4.2 Забезпечення проведення рятувальних та інших невідкладних робіт**

Всебічне забезпечення дій формувань – одна із вирішальних умов успішного проведення РіНР. Організація і проведення цієї роботи покладається на начальника ЦО, начальників служб і командирів формувань. Забезпечення дій формувань при проведенні РіНР включає; розвідку, радіаційний і хімічний захист, матеріальне, технічне та медичне забезпечення.

Безперервне забезпечення формувань проводиться з метою отримання даних обстановки, зниження дії уражаючих факторів надзвичайних ситуацій та створення сприятливих умов для проведення РіНР.

Розвідка – основний вид забезпечення дій формувань. Вона організовується та ведеться з метою своєчасного добування даних про обстановку для прийняття рішення і успішного проведення РіНР в осередках ураження, в районах стихійного лиха, аварій та катастроф. Розвідка ведеться безперервно всіма формуваннями.

Організація розвідки – важливий обов'язок начальника ЦО об'єкта і командирів формувань. Командир формування (начальник штабу) ставить завдання розвідці, виділяє необхідні для цього сили і засоби і вказує, де зосередити основні зусилля.

Забезпечення радіаційно-хімічного захисту. Начальник ЦО об'єкта організовує та керує проведенням заходів щодо захисту формувань, а командири формувань забезпечують їх виконання. На це спрямовано ряд узгоджених заходів:

– організовують безперервну розвідку, чіткі дії за сигналами оповіщення, здійснюють інженерне улаштування районів розташування формувань враховуючи захисні властивості місцевості;

– здійснюють постійний контроль за зараженістю повітря та місцевості, безпекою формувань при діях у зонах формувань, завалів, пожеж, зараження, затоплення, проведенням профілактичних заходів. Важливе значення в системі захисних заходів відведено санітарній обробці особового складу формувань, знезараженню техніки та майна, а також забезпеченню формувань засобами захисту.

Начальник ЦО об'єкта організовує та керує проведенням заходів радіаційного і хімічного захисту, а командири формувань забезпечують виконання усіх заходів.

Командир формування при організації захисту вказує:

- 1) як організувати і вести розвідку;
- 2) сигнали оповіщення;
- 3) обсяг та терміни інженерного улаштування районів розташування;
- 4) порядок проведення контролю на зараженість;
- 5) міри безпеки, обсяг робіт, сили та засоби, що необхідні для ліквідації наслідків НС;
- 6) де і коли проводити спеціальну обробку.

Матеріальне забезпечення передбачає організацію і здійснення своєчасного та в повному обсязі постачання формувань технікою, засобами захисту, зв'язку, приладами радіаційної і хімічної розвідки та іншими засобами, необхідними для проведення РіНР і вирішення завдань ЦО.

Технічне забезпечення організовується для підтримування у справному стані і в постійній готовності до використання усіх видів автотранспортної, інженерної та іншої техніки. Завдання технічного забезпечення: організація евакуації та поточного ремонту техніки, постачання формувань запасними частинами і ремонтними матеріалами та технічне обслуговування машин.

Технічне забезпечення організовує командир формування. У своєму розпорядженні він вказує: терміни готовності техніки до виконання завдань; залучені сили та засоби для ремонту та евакуації техніки; порядок поповнення запасними частинами і ремонтними матеріалами; місця розгортання збірних

пунктів пошкоджених машин; порядок управління та зв'язку.

Медичне забезпечення організовується та здійснюється для збереження здоров'я і працездатності особового складу формувань, своєчасного надання медичної допомоги пораненим і хворим, їх евакуація, лікування та найшвидше повернення до лав діючих, а також для попередження виникнення інфекційних захворювань серед особового складу формувань. Медичне забезпечення передбачає: лікувально-профілактичні, санітарно-гігієнічні, протиепідемічні і лікувально-евакуаційні заходи. Ці заходи проводяться медичною службою Цивільної оборони об'єкта на усіх етапах дій формувань.

Медичний пункт при проведенні РіНР розгортається безпосередньо на ділянці (об'єкті) робіт формування, на місці, яке зручне для перенесення ураженого особового складу на транспорт і забезпечує його захист в умовах надзвичайних ситуацій.



## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що метанове бродіння сироватки і стічних вод, може бути істотним джерелом біогазу. З кожного м<sup>3</sup> можна отримувати близько 15 м<sup>3</sup> метану. З огляду на те, що багато які шляхи використання сироватки є, в основному, лабораторними розробками (крім виробництва лактози і галактозо - глюкозних сиропів), можна вважати, що створення біотехнологічної переробки сироватки як вторинної сировини на біогаз дуже доцільне.

2. Запропоновано технологічну схему переробки стоків і сироватки з застосуванням метанового бродіння. Проведені розрахунки теплового балансу метантенків. Під тепловим балансом, в даному випадку, ми маємо на увазі кількість тепла, отриманого з усієї кількості біогазу, кількість тепла (і відповідно біогазу), що витрачається на обігрів метантенків, і надлишкова кількість тепла (біогаз), який в подальшому іде на виробництво та генерацію електро та теплоенергії. Розрахунки показали, що впровадження такої технологічної схеми дозволить підприємству з об'ємом переробки молока 100 т щодоби одержувати до 4 000 м<sup>3</sup> біогазу.

3. Економічний ефект від застосування такої технологічної схеми виробництва біогазу на підприємстві з об'ємом переробки молока 100 т/добу складе 1 530 000 грн., окупність проекту складе п'ять місяців, при капітальних затратах до 800 тис. грн.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Душин И.Ф., Потапенко Л.Я., Ющюс А.И., Виноградов Ю.Н. Санитарно-технические устройства предприятий // Учебник для техникумов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 299 с.
2. Костин Н.И., Гуденко А.И. и др. Рекомендации по снижению загрязнённости сточных вод предприятий молочной промышленности / НТЦ «Мясомолпром». – Москва-Каунас: 1987. – 43 с.
3. Шифрин С.М. Чеснова Л.М. Осветлители-перегниватели для очистки сточных вод. – Л.: Издательство литературы по строительству, 1970. – 110 с.
4. Таварткиладзе Й.М. Сорбционные процессы в биофильтрах. – М.: Сройиздат, 1989 – 125 с.
5. Мишуков Б.Г. Очистка сточных вод молочных заводов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Ленинград, 1965 – 18 с.
6. Синев О.П., Охримюк Б.Ф. Реконструкция очистных сооружений молочноконсервного комбината // Молочная промышленность. – 1992. – №2. – С. 22-23.
7. Балыкин А.В. Анализ работы очистных сооружений Фрунзенского городского молокозавода // Роль гидробионтов в очистке сточных вод. – 1977. – С. 32-34.
8. Синёв О.П., Охримюк Б.Ф. Реконструкция очистных сооружений молочноконсервного комбината // Молочная промышленность. – 1992. – № 2. – С. 22-23.
9. Bronislaw Bartkiewicz Oczyszczanie ścieków przemysłowych. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN. – 2002. – P. 292.
10. Grudzień Y., Neutralizacja ścieków mleczarskich dwutlenkiem węgla // Przegląd Mleczarski. – 1998. – №3. – P. 86-89.
11. Коваленко М.С. Переработка побочного молочного сырья. М.: Пищевая промышленность, 1965. – 122 с.

12. Карелин Я.А., Яромский В.Н., Лысенкова Т.М., Волкова Г.А. Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности // Водоснабжение и санитарная техника. – 1993. - №6. – С. 74-83.

13. Рашевская Т.А. и др. Утилизация отходов производственных сточных вод молокозаводов на производство кормовых добавок // Тез. докл. Респ. научно-техн. конф. “Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевой и перерабатывающей отрасли АПК”. – Киев. – 1991. – С. 269-270.

14. Borgia P., Banks C. Kinetics of an upflow anaerobic sludge blanket reactor treating ice-cream wastewater // Environment technol. – 1994. - №15. – P. 219-232.

15. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1986. – 72 с.

16. Vigal G., Carvalho A., Mendez R., Lema J. Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters // Bioresource technol. – 2000. – Vol. 74. - P. 231-240.

17. Бенсон М.И. Очистка сточных вод молочных заводов // Рефераты и обзоры по инженерно-технической литературе. Выпуск 60-тый. – Москва, 1956. – С. 42-69.

18. Omill F., Carrido J., Arrojo B., Mendez R. Anaerobic filter performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale // Water res. – 2003. – Vol. 37, №17. – P. 4099-4108.

19. Cordoba P., Riera F., Sineriz F. Treatment of dairy industries wastewater with an anaerobic filter // Biotechnol. Lett. – 1984. – Vol. 16, №11. – P. 753-758.

20. Nadais H., Capela I., Arroza L., Duarte A. Biosorption of milk substrates onto anaerobic flocculent and granular sludge // Biotechnol. Prog. – 2003. - №19. – P. 1053-1055.

21. Srydom J., Mostert J., Britz T. Anaerobic treatment of a synthetic dairy effluent using a hybrid digester // Water SA - 1995. – Vol. 21, №2, P. 125-130.

22. Gonzalez J., Valdes P., Nieves G., Gerrero B. Aplicacion de la digestion anaerobia a los residuales de industrials lacteas // Rev. Int. de Contamination Ambiental – 1994. – Vol.10, №1. – P. 37-41.

23. Hawkes F., Donnelly T., Anderson G. Comparative performance of anaerobic digesters operating on ice-cream wastewater // Water res. – 1995. – Vol. 2. – P. 525 – 533.

24. Карелин Я.А., Репин Б.Н. Биохимическая очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 161 с.

25. Omil F., Garrido J., Arrozo B., Mendez R. Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale // Water research. – 2003. – Vol. 37, №17. – P. 4099-4109.

26. Феофанов Ю.А., Калинина-Шувалова С.Р. Разработка схемы локальной очистки сточных вод молокоперерабатывающих заводов с применением электролитических методов // Меэвузовский тематический сборник трудов ЛИСИ. – 1977. – №6 – С. 130-134.

27. Феофанов Ю.А., Калинина-Шувалова С.Р. Исследования по очистке сточных вод предприятий молочной промышленности методом электрокоагуляции // Меэвузовский тематический сборник трудов ЛИСИ. – 1977. – №6 – С. 134-138.

28. Калинина-Шувалова С.Ф. Локальная очистка сточных вод предприятий молочной промышленности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Ленинград, 1977. – 26 с.

29. Filno B., Figueiredo R., Nour E. Anaerobic of ptreatment of dairy bigwig effluents // Prog. 51 st Purdue Ind. Waste Conf. – 1996. – P. 323-331.

30. Лукашенко С.В. Повышение эффективности обработки жиродержащих вод мясомолочной промышленности. Рукопис дис. канд. техн. наук: 05.23.04. – Харьков: ХГТУСА, 2002. – 176 с.

31. Лукашенко С.В. Очистка производственных жиродержащих сточных вод молокозаводов // Коммунальное хозяйство городов. Науч. техн. сб. –

ХГАГХ. – К.: Техника, 2000. – Вып. 25. – С. 157-159.

32. Березуцкий В.В., Терновская О.И., Одарюк П.В. Очистка жирового стока реагентной обработкой с отстаиванием // Весник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1997. – Вып. 8. – С. 20-23.

33. Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод. Флотация и сгущение осадков. – М.: Химия, 1992. – 143 с.

34. Makinia J., Rosenwinkel K., Spring V. Long-term simulation of the activated sludge process at the Hanover-Gümmerwald pilot WWTR // Water research. – 2005. – Vol. 39, №8. – P. 1489-1502.

35. Березуцкий В.В., Терновская О.И., Одарюк П.В. Опыт очистки жиродержащих стоков // Весник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1997. – Вып. 8. – С. 26-30.

36. Эпоян С.М., Лукашенко С.В. Повышение эффективности обработки жиродержащих сточных вод мясомолочной промышленности // Сб. докл. Междунар. конгр. “Экология, технология, экономика, водоснабжение, канализация”. – Ялта. – 2001. – С. 182-184.

37. Цыганков С.П. Биологическая очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1988. – 165 с.

38. Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности / Шифрин С.М., Иванов Г.В., Мишуков Б.Г., Феофанов Ю.А.; Под ред. Шифрина С.М. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 272 с.

39. Шифрин С.М., Мишуков Б.Г. Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности. – Москва: Пищевая промышленность, 1968. – 118 с.

40. Некрасова Л.И. Николаева О.К. Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности. – Москва, 1967. – 30 с.

41. Nadais H., Capela I., Arroja L., Duarte A. Optimum cycle time for intermittent UASB reactors treating dairy wastewater // Water research. – 2005. – Vol. 39, №8. – P. 1511-1526.

42. Petruj R., Lettinga G. Digestion of a milk-fat emulsion // *Bioresource technol.* – 1997. - Vol. 61, №9. – P. 141-148.
43. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Биологические фильтры. - М.: Стройиздат, 1982. – 120 с.
44. Жуков А.И., Мангайт И.М., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод: Спр. пособие. – М: Стройиздат, 1977. – 204 с.
45. Голубовская Э.К. Биохимические основы очистки воды / Учебное пособие для строит. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1978. – 271 с.
46. Горбань Н.С., Лопин А.М., Школьник Е.М. Очистка сточных вод молокозаводов / Биология и биотехнология очистки воды. Тезисы докладов конференции 1992 г. в Полтаве. – Киев: Знание, 1992. – 58 с.
47. Klimpel H. Der Oxydationsgraben als Abwasserbehandlungsanlage für die milchverarbeitende Industrie // “Lebensmittel - Industrie”. – 1971. – Bd. 18, N 12 – P. 459-461.
48. Krassowski J. Wykonawstwo oczyszczalni ścieków mleczarskich // “Przegląd Mleczarski”. – 1970. – Vol. 20, №10. – P. 26-27.
49. Zabierzewski Cr. Oxidační přikopy v polských čistírnách mlékárenských odpadních vod. // “Průmysl Potravin”. – 1972. – Vol. 23, №5. – P. 135-138.
50. Долина Л.Ф. Реакторы для очистки сточных вод. – Днепропетровск, 2001.- 81 с.
51. Маастик А. Очистка сточных вод в окислительных каналах. – Таллин: Валгус, 1969. – 41с.
52. Василенко А.И. Малые очисные канализационные сооружения. – Киев: “Будівельник”, 1964. – 99 с.
53. Яковлев С.В., Скирдов И.В., Швецов В.И., А. А. Бондарев, Ю. Н. Андрианов Биологическая очистка производственных сточных вод. Процессы, аппараты и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 207 с.
54. Wojciech Dabrowski, Lech Margel Osady powstające w oczyszczalniach ścieków mleczarskich – możliwości ich zagospodarowania // *Gaz, Woda i Technika sanitarna.* – 2000. – №3 – S. 106-108

55. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. – Рівне: ВАТ “Рівненська друкарня”, 2002. – 622 с.

56. Воронов Ю.В., Саломеев В.П., Ивчатов А.Л., Побегайло Ю.П., Жиров Е.Н., Трубников В.А. Реконструкция и интесификация работы канализационных очистных сооружений.– М.: Стройиздат, 1990. - 222 с.

57. Феофанов Ю.А. Применение биологических фильтров для очистки сточных вод с одновременной стабилизацией биомассы. – Ленинград: Стройиздат (Ленинградское отделение), 1982. – 119 с.

58. Роговская Ц.И. Биохимический метод очистки сточных вод. – М.: Сройиздат, 1967. – 138 с.

59. Синёв О.П. Интенсификация биологической очистки сточных вод. – Киев: Техника, 1983. – 110 с.

60. Козьминых Л.С. Окисление органических веществ в биофильтрах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук: 05.23.04 – М., 1988. – 15 с.

61. Яковлев С.В. Искусственные биологические окислители и методы их расчета. М.: Госстройиздат, 1959. – 154 с.

62. Валах В.П. Очистка сточных вод маломощных молокоперерабатывающих предприятий на дисковых биофильтрах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук: 05.23.04. – Киев, 1988. – 19 с.

63. Охримюк Б.Ф. Ефективність очистки стічних вод на біофільтрах з завантаженням із спіненого полістиролу // Збірник наукових праць “Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво”. Випуск 26. – Рівне, 2001. – С. 278-285.

64. Гироль Н., Журба М., Семчук Г., Якимчук Б. Доочистка сточных вод на зернистых фильтрах . – Ровно: “Типография Левобережная”. – 1998. – 92 с.

65. 50 запитань і 49 відповідей з нової біотехнології очистки води. Під ред. П.І. Гвоздяка. На допомогу лектору. - Київ: Знання, 1990. – 27 с.

66. Гвоздяк П.І., Глоба Л.І. Научное обоснование, разработка и внедрение в практику новых биотехнологий очистки воды // Химия и технология воды. – 1998. – т.20, №1. – С. 61-69.

67. Гвоздяк П. За принципом біоконвеєра // Вісник НАН України, 2003 – №3 – С. 29-36.

68. Друшляк О.Г. Разработка и исследование метода глубокой очистки сточных вод на аэрируемых фильтрах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук: 05.32.04. – Харьков, 1994 – 24 с.

69. Шифрин С.М., Хасид Е.В. Исследование по биологической очистки сточных вод рыбконсервных производств на опытно-производственной установке биотенка // Новые методы и типы сооружений для очистки производственных и городских сточных вод. – Ленинград, 1972. – 137 с.

70. К.Ф. Форестер, Д.А.Дж. Вейз. Экологическая биотехнология: Пер. с англ. – Ленинград: Химия, 1990. – 384 с.

71. Романенко В.Д., Крот Ю.Г., Сиренко Л.А., Соломатина В.Д. Биотехнология культивирования гидробионтов. – К.: Институт гидробиологии НАН Украины, 1999. – 264 с..

72. Casani S., Rouhany M., Knochel S. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry // Water research. – 2005. – Vol. 39, №6. – P. 1134-1146.

73. Progress in phycological research. // Eds. Round R. E., Chapman D. J. Amsterdam, New York, Oxford: Elsevier Biomedical Press. – 1982. – P. 34-38.

74. Han Qing Yu Acidification of mid- and high-strength dairy wastewaters // Water research. – 2001. – Vol. 35, №15. – P. 3697-3705.

75. Dabrowski W. Badanija mozliwosci nieprzemyslowego zagospodarowania osadow z oczyszczalni ścieków mleczarskich // Gospodarka wodno- ściekowa i odpadowa w świetle integracji Polski z Unią Europejską. – 2001. - Z.15, - P. 286-289.

76. Kolbus P. u. a. Reinigung von Molkereiabwasser mit einem neuentwickelten Verfahren // Deutsche Molkerei Zeitung, 1987 (36), – P.280-284.



77. Ротмистров М.И., Гвоздяк П.И., Ставская С.С. Микробиология очистки воды. – Киев: “Наукова думка”, 1978. – 266 с.
78. Кутикова Л.А. Фауна аэротенков // Атлас. – Ленинград: Наука, 1984. – 264 с.
79. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. - М.: Сройиздат, 1980. – 200 с.
80. Финогенова Н.П. Класс малощетинковые черви Oligochaeta // Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР. – Ленинград, 1977. – С. 175-200.
81. Синельников В. Е. Механизм самоочищения водоёмов. – М.: Стройиздат, 1980. – 108 с.
82. Ляшенко А.В., Силаева А.А. Макробентос р. Тисы и водоемов ее бассейна в пределах Украины // Гидробиологический журнал. – 1994. – т. 30, №5. – С. 29-31.
83. Клявиньш М., Родионов В., Пареле Э., У. Химический состав донных отложений и зообентос реки Даугавы // Гидробиологический журнал. – 1996. – т. 32, №1. – С. 48-53.
84. Б. Здановский, А. А. Протасов, С. А. Афанасьев, О. О. Сеницына Структурне и функциональные особенности группировок зообентоса и зооперифитона Конинских озер // Гидробиологический журнал. – 1996. – т. 32, №1 – С. 36- 48.
85. Харченко Т.А., Ляшенко А.В., Башмакова И.Х. Биоразнообразие водных ценозов и качество воды низовьев Даугавы в пределах Украины // Гидробиологический журнал. – 1998. – т. 34, №6. – С. 45-65.
86. Баканов А.И., Флеров Б.А. Состояние сообщества донных организмов верхней Волги // Гидробиологический журнал. – 1998. – т. 34, №2. – С. 38-46.
87. Шарапова Т.А. Зообентос и зооперифитон реки Иртыш // Гидробиологический журнал. – 1998. – т. 34, №4. – С. 32-44.
88. Сергеева И. Г. Мейобентос озера Донузлав // Гидробиологический журнал. – 1998. – т. 34, №4. – С. 32-34.