

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ

Частина третя

Методи переробки осадів стічних вод

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 628.336 (075)

П 77

Автори:

**Петрук В.Г., Васильківський І.В., Безвозюк І.І., Петрук Р.В.,
Турчик П.М.**

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України як навчальний посібник ВНТУ для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». (протокол № ___ від ___ жовтня 2013 р.)

Рецензенти:

А.П. Ранський, доктор хімічних наук, професор
Д. І. Крикливий, доктор технічних наук, професор
В. Г. Кур'ята, доктор біологічних наук, професор

Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.3: Методи переробки осадів стічних вод / [Петрук В. Г., Васильківський І. В., Безвозюк І. І., Петрук Р. В., Турчик П. М.] – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 324 с.

В посібнику розглянуті характеристики сучасних методів і засобів промислової переробки та утилізації осадів стічних вод. Сформульовані науково-обґрунтовані рекомендації щодо технологічної переробки і утилізації осадів стічних для отримання вторинних сировинних та енергетичних ресурсів.

Навчальний посібник розрахований на студентів екологічних спеціальностей та теплоенергетичних спеціальностей, спеціалістів житлово-комунального господарства, інженерів з техногенно-екологічної безпеки працюючих в комунальній сфері, фахівців з управління охороною навколишнього природного середовища, екологічної інспекції та спеціалістів науково-дослідних організацій.

УДК 628.336 (075)

П 77

© В. Петрук, І. Васильківський, І. Безвозюк, Р. Петрук, П. Турчик 2013

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Розділ 1. СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ ОСАДІВ.....	8
1.1. Хімічний та гранулометричний склад осадів.....	8
1.2 Термінологія і класифікація осадів.....	11
1.3. Склад і властивості осадів.....	13
1.4 Питомий опір осадів фільтрації.....	19
1.5 Форми зв'язку води з частинками твердої фази та їх вплив на обробку осадів.....	26
1.6 Теплофізичні характеристики осадів.....	33
1.7 Мулоущільнювачі.....	37
1.8 Основні напрямки утилізації осадів.....	40
Розділ 2. УЩІЛЬНЕННЯ І ЗГУЩЕННЯ ОСАДІВ.....	45
2.1. Ущільнення активного мулу і осаду первинних відстійників.....	45
2.2. Згушення осадів на вібраційних фільтрах, сепараторах і центрифугах.....	50
2.3. Промивка і ущільнення зброженого осаду.....	55
2.4 Обробка осадів при їх утилізації.....	60
2.5 Двоступінчаста сепарація.....	61
Розділ 3. СТАБІЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ.....	68
3.1. Методи стабілізації осадів.....	68
3.2. Зброджування осаду в метантенках.....	69
3.3 Споруди анаеробного зброджування.....	73
3.4. Аеробна стабілізація осаду.....	78
3.5. Споруди аеробної стабілізації.....	81
Розділ 4. РЕАГЕНТНА І ТЕПЛОВА ОБРОБКА ОСАДІВ.....	88
4.1. Обробка осадів хімічними реагентами і введення присадкових матеріалів.....	88
4.2. Теплова обробка і заморожування осадів.....	104
Розділ 5. ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ НА ВАКУУМ-ФІЛЬТРАХ І ФІЛЬТР-ПРЕСАХ.....	112
5.1. Теоретичні основи технології фільтрування осадів.....	112
5.2. Установки механічного зневоднення.....	118
5.3. Зневоднення осадів на барабанних вакуум-фільтрах.....	124
5.4. Фільтр-пресування осадів.....	137
Розділ 6. ЦЕНТРИФУГУВАННЯ ОСАДІВ.....	149
6.1. Основні закономірності розподілу осадів на фази при центрифугуванні.....	149
6.2. Безреагентне центрифугування осадів і схеми обробки фугату.....	153
6.3. Реагентне центрифугування осадів.....	169
6.4 Підсушування осаду на мулових майданчиках.....	173
Розділ 7. МЕТОДИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ І ЗНЕШКОДЖЕННЯ ОСАДІВ....	182

7.1. Знешкодження рідких осадів нагріванням.....	182
7.2. Хімічне знезараження осадів.....	186
7.3. Дегельмінтизація зневодненого осаду.....	191
7.4. Біотермічна обробка (компостування) осадів стічних вод.....	194
7.5. Біотермічна обробка (компостування) суміші осадів стічних вод і твердих побутових відходів.....	201
7.6 Термічне сушіння осадів.....	207
7.7. Спалювання осадів.....	218
7.8 Термічне знешкодження твердих побутових відходів з утилізацією тепла для обробки осадів стічних вод.....	224
7.9 Утилізація осадів в якості добрив.....	229
7.9.1 Використання осадів побутових стічних вод.....	234
7.9.2 Спільне використання ОСВ із ТПВ.....	235
Розділ 8 ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНОГО МУЛУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОРМОВОГО ПРОДУКТУ БЕЛВІТАМІЛА.....	
8.1. Характеристика белвітамілу з активного мулу.....	240
8.2 Ефективність використання белвітамілу як кормової добавки для тварин.....	244
8.3 Кормові дріжджі і белвітаміл.....	245
8.4 Технологічні схеми виробництва белвітаміла.....	247
8.5 Одержання корисних продуктів з осадів стічних вод та інших відходів методом піролізу.....	254
8.6 Технологічні схеми піролізу осадів.....	257
8.7 Піроліз активного мулу з метою одержання активованого вугілля....	261
8.8 Про спільний піроліз осадів з іншими відходами.....	265
8.9 Приклади створення піролізних заводів для великих очисних станцій.....	267
Розділ 9 УТИЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	
9.1. Утилізація осадів стічних вод целюлозно-паперової промисловості..	269
9.2 Використання осадів стічних вод легкої промисловості.....	273
9.3 Використання активного мулу і інших відходів стічних вод як кормового продукту для комбікормової промисловості.....	280
9.4 Використання газу метантенків.....	286
9.4.1 Використання біогазу з метою одержання кормового білка.....	291
9.4.2 Перспективи хімічного використання газу метантенків.....	293
Розділ 10. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ОСАДІВ.....	
10.1. Вибір методу й технологічної схеми обробки осадів.....	295
10.2. Практика застосування методів обробки осадів.....	308
10.3 Приклади спалювання осадів за кордоном.....	315
ЛІТЕРАТУРА.....	322

ВСТУП

Швидкий розвиток виробництва, а також зростання чисельності населення неминуче пов'язані зі збільшенням споживання природних ресурсів, запаси яких все більше зменшуються. У той же час недосконалість виробництва призводить до того, що 80-90% сировини не використовується, перетворюючись на відходи і зокрема стічні води.

В біосферу надходить величезна кількість відходів, що призводить до її деградації і створює реальну загрозу здоров'ю і життю населення. В умовах науково-технічної революції, подальший сталий розвиток суспільства можливий лише на основі природоохоронних мало- і безвідходних технологій.

Осади стічних вод (ОСВ), які виділяються в результаті очищення побутових, сільськогосподарських і промислових стічних вод, є концентрованими відходами, які можуть містити шкідливі і токсичні речовини в десятки і сотні разів більше, ніж стічні води.

ОСВ є важко фільтрованими суспензіями колоїдного типу. Вони містять велику кількість бактеріальних забруднень, органічних речовин, здатних швидко загнитися з виділенням неприємних запахів.

Міські господарсько-побутові стоки та їх осади, потрапляючи в річки, забруднюють і заражають їх такими хворобами, як черевний тиф, паратиф, дизентерія, холера, інфекційний гепатит (жовтяниця), туляремія та інші хвороби.

Не менш небезпечним є деякі виробничі стоки, які, потрапляючи у водні джерела, а звідти через рибу, крабів, молюсків або сільськогосподарські продукти в організм людини, викликають у населення токсичні і гострі хронічні захворювання.

В містах України технологія обробки осадів стічних вод практично зводиться до зброджування їх у метантенках з подальшим підсушуванням на мулових площадках. Процес підсушування осадів протікає досить повільно і залежить від кліматичних і гідрогеологічних умов. Для обробки осадів за такою технологією потрібні значні капіталовкладення і відчуження великих площ природних земель. Крім того, підсушування на мулових майданчиках не забезпечує повного знезараження осадів і становить серйозну загрозу забруднення навколишнього природного середовища. Прибирання осадів з мулових майданчиків, їх вантаження, транспортування, розвантаження та внесення на сільськогосподарські поля – трудомісткі операції, пов'язані із застосуванням ручної праці. В результаті кошти, витрачені на охорону водойм від забруднень шляхом очищення стічних вод, не дають достатньої ефективності, так як самі очисні станції без системи утилізації осадів є джерелами вторинних забруднень біосфери. Тільки при утилізації осадів і використанні очищених стічних вод можливе створення безвідходних і в багатьох

випадках самоокупних очисних комплексів, які забезпечували б радикальне вирішення проблеми охорони природного середовища.

В останні роки будується багато споруд для локального очищення промислових і комунальних стічних вод. Однак, переробці осадів приділяється недостатня увага, тому осади потрапляють у каналізації населених місць або у водойми. Особливу небезпеку становлять токсичні осади, що містять важкі метали, наприклад гідро-оксидні осади від гальванічних цехів машинобудівних заводів [1].

Питання утилізації осадів стічних вод повинно вирішуватися комплексно з питаннями очищення стічних вод, без чого водоохоронні заходи не можуть бути ефективними. Осади стічних вод є вторинними ресурсами, які можуть бути використані в сучасній біотехнології для отримання добрив, кормових продуктів, білків, вітамінів, амінокислот тощо. Утилізація осадів побутових і виробничих стічних вод набуває особливого значення, так як вирішує не тільки природоохоронне завдання, а й економічне, сприяючи поповненню сировинних і матеріальних ресурсів держави. Це дозволить перетворити водоохоронні об'єкти в самоокупні і допомогти виробничим підприємствам стати безвідходними.

Автори навчального посібника прагнули систематизувати та узагальнити наявний вітчизняний і зарубіжний досвід з утилізації та відповідної обробки осадів стічних вод. Для цього розглянуто питання використання осадів в якості вторинних сировинних та енергетичних ресурсів для отримання добрив, кормових добавок, будівельних матеріалів, товарів, і багатьох інших цінних продуктів необхідних для народного господарства.

У запропонованому навчальному посібнику логічно узагальнено та послідовно висвітлено сучасні природоохоронні технології захисту гідросфери, що базуються на створенні і використанні сучасних систем переробки і утилізації промислових і комунальних осадів стічних вод.

Навчальний посібник складений у відповідності з програмою курсу “Природоохоронні технології” і розрахований на поглиблену, ґрунтовну підготовку студентів за напрямом “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування”. Мета даного навчального посібника надати студентам необхідні знання з теоретичних і практичних питань сучасних природоохоронних технологій збереження гідросфери, допомогти їм самостійно опрацьовувати теоретичний матеріал, оцінити свої знання за допомогою контрольних питань для самоконтролю.

В посібнику сформульовані науково-обґрунтовані рекомендації щодо ефективного розв'язання проблеми переробки і використання осадів стічних вод в Україні: збільшення об'ємів переробки та утилізації осадів, зменшення їх негативного впливу на довкілля, розроблення та впровадження природоохоронних ресурсозберігаючих технологій,

удосконалення всієї системи поводження з осадами, що значно поліпшить екологічну ситуацію та умови життя населення.

Навчальний посібник розрахований на студентів екологічних спеціальностей та теплоенергетичних спеціальностей, спеціалістів житлово-комунального господарства, інженерів з техногенно-екологічної безпеки працюючих в комунальній сфері, фахівців з управління охороною навколишнього природного середовища, екологічної інспекції та спеціалістів науково-дослідних організацій.

Наведені у навчальному посібнику фактичні, таблиці, рисунки та формули дають можливість майбутнім фахівцям добре організувати свою діяльність із урахуванням розуміння і логічного осмислення технологічних основ методів і засобів промислової переробки осадів стічних вод. При написанні навчального посібника авторами були враховані побажання студентів ВНТУ при вивченні дисципліни «Природоохоронні технології».

Автори будуть вдячні за висловлені критичні зауваження і рекомендації до навчального посібника, з метою подальшого поглибленого вивчення і розвитку техніко-технологічних основ сучасних методів і засобів переробки і утилізації осадів промислових і комунальних стічних вод для всіх регіонів України.

Автори висловлюють особливу подяку за рецензування рукопису і критичні зауваження по покращенню навчального посібника доктору технічних наук, професору кафедри хімії Д. І. Крикливому і доктору біологічних наук, професору, завідувачу кафедри біології В. Г. Кур'яті Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського та доктору хімічних наук, професору А. П. Ранському завідувачу кафедри хімії та хімічної технології Вінницького національного технічного університету.

Матеріали навчального посібника підготовлені авторами відповідно розділам: В.Г. Петрук (вступ, розд. 2, 4), І.В.Васильківський (розд. 1, 3), І.І.Безвозюк (розд. 5, 7), Р.В.Петрук (розд. 6, 9), П.М.Турчик (розд 8, 10).

Розділ 1. СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ ОСАДІВ

1.1. Хімічний та гранулометричний склад осадів

Стічні води, що надходять на підприємства по їх очищенню, містять вельми різноманітні за складом забруднення мінерального (пісок, глинисті частинки, масла, кислоти, луги, солі і т. п.), органічного (побутові відходи, фекалії, рослинні масла, нафтопродукти, волосся, волокна рослин і т. п.) і бактеріального (мікроорганізми, дріжджові і цвілеві гриби, водорості і т. п.) походження у вигляді розчинів, колоїдів, плаваючих і зважених речовин.

Осади стічних вод (ОСВ) – суспензії, що виділяються з стічних вод в процесі їх механічного, біологічного та фізико-хімічного (реагентного) очищення. В залежності від типу споруд, застосовуваних для очищення стічних вод і обробки осадів, останні можна поділяти на наступні види: грубі домішки (відходи), затримувані ґратами; важкі домішки (пісок), затримувані пісковловлювачами; плаваючі домішки (жирові речовини), спливаючі у відстійниках; сирий осад – суспензія, що включає в основному осідаючі зважені речовини, які затримуються первинними відстійниками; активний мул, затримуваний у вторинних відстійниках, – комплекс мікроорганізмів колоїдного типу з адсорбованими і частково окисленими забрудненнями, вилученими з стічних вод в процесі біологічного очищення; осад, анаеробно зброджений в освітлювачах-перегнивачах, двоярусних відстійниках і метантенках (анаеробне збродження може застосовуватися до осаду, що містить органічні речовини, або його суміш з надлишковим активним мулом); аеробно стабілізований активний мул або його суміш з осадом з первинних відстійників в спорудах типу аеротенків; згущений або ущільнений активний мул або осад у згущувачах або ущільнювачах; осад зневоднений на механічних апаратах; осад, підсушений на мулових майданчиках; осад, термічно висушений в різних сушарках [1-3].

На очисних спорудах промислових підприємств утворюються осади і шлами (мінерального походження) виробничих стічних вод. Кількість, вологість, щільність і хімічний склад осадів і шламів виробничих стічних вод коливаються в широких межах.

Кількість відходів, вилучених із решіток, залежить від типу решітки та ширини прозорів. Для ґрат з шириною прозорів 16-20 мм в середньому вона становить 8 л/рік на 1 чел. при вологості 80% і щільності 750 кг/м³. Дроблені відходи, розбавлені водою в кількості 40 м³ на 1 т, направляються в стічну воду перед ґратами або в метантенки. Відходи з решіток допускається направляти на звалища або сміттєспалювальні установки.

Важкі домішки (пісок), затримувані в пісковловлювачах в кількості 0,02 л/добу на 1 чол. при вологості 60% і щільності 1,6 т/м³, спрямовуються на піскові майданчики або накопичувачі.

Плаваючі домішки, кількість яких у середньому становить 2 л / рік на 1 чол. при вологості 60% і щільності 0,6 т/м³, допускається обробляти спільно з осадом з первинних відстійників.

Методи обробки, обсяги, склад і властивості осадів з первинних і вторинних відстійників залежать від складу стічних вод що підлягають очищенню і в першу чергу від виду, кількості та складу виробничих стічних вод, що очищаються на міських очисних спорудах сумісно з побутовими стічними водами. Кількість осаду, що вивантажується з первинних відстійників, залежить від ефекту освітлення стічних вод.

Кількість залишкового активного мулу в розрахунку на суху речовину P_M , мг/л, визначається за формулою:

$$P_M = 0,8 \cdot B + 0,3 \cdot L_a,$$

де B – кількість зважених речовин у стічній воді, яка надходить в аеротенк, мг/л; L_a – БСК_{повн.} стічної води, що надходить в аеротенк, мг/л.

Сирі осад з первинних відстійників відрізняються великою неоднорідністю і є драглистою суспензією сірого або світло-коричневого кольору з кислуватим запахом. Внаслідок великої кількості органічних речовин вони швидко загнивають, набуваючи темно-сірого або чорного кольору і виділяючи неприємний кислий запах. Середня вологість осаду, що вивантажується з первинних відстійників, приймається рівною 95% при самопливному видаленні і 93,8% при видаленні плунжерними насосами.

Активний мул є суспензією, що містить аморфні пластівці, що включають аеробні бактерії та найпростіші мікроорганізми з дрібними і адсорбованими забрудненнями із стічних вод. При зберіганні і ущільненні він швидко загниває. Вологість активного мулу, що вивантажується з вторинних відстійників після аеротенків, становить 99,2 – 99,7%, а після біофільтрів – 96 – 96,5%.

Активний мул, ущільнений в мулоущільнювачах вертикального типу, має середню вологість 98%, а в мулоущільнювачах радіального типу – 97%.

Для орієнтовних розрахунків кількість суміші осаду первинних відстійників і ущільненого надлишкового активного мулу міських станцій аерації при середній вологості 96,2% в може прийматися рівною 0,5 – 1% обсягу очищених стічних вод, а щільність – 1.

Кількість осаду, що утворюється при фізико-хімічному (реагентному) очищенні стічних вод, залежить від типу і дози прийнятих

реагентів і при вологості 95 – 96% в середньому в 2,5 рази перевищує кількість осаду з первинних відстійників.

Зброджені осади відрізняються більш однорідною структурою, це суспензії чорного або темно-сірого кольору. Вологість осаду, що вивантажується з метантенків, залежить від співвідношення осаду і активного мулу по сухій речовині і розпаду беззольної речовини. При збродженні суміші осаду з первинних відстійників і ущільненого надлишкового активного мулу середня вологість осаду, що вивантажується з метантенків, може прийматися рівною 97%; а вивантажуваних з двоступеневих метантенків та освітлювачів-перегнивачів – 93%; із аеробних стабілізаторів після 1,5-5-годинного ущільнення – 95 – 98%.

При очищенні міських стічних вод основну частину сухої речовини осаду з первинних відстійників (у середньому 60 – 75%) і активного мулу (в середньому 70 – 75%) складають органічні речовини. Органічна частина активного мулу в основному складається з речовин білкового походження (до 50%) при вмісті жирів і вуглеводів відповідно до 30 і 10%. У сирому осаді з первинних відстійників білків приблизно в 2 рази менше, а вуглеводів в 2,5 – 3 рази більше, ніж в активному мулі.

Бактеріальна забрудненість осадів величезна. У них є всі основні форми бактеріальних організмів: коки, палички, спірили. З патогенних мікроорганізмів зустрічаються збудники шлунково-кишкових та інших захворювань, велике число яєць гельмінтів.

Осади міських стічних вод (сирі і зброджені) при вологості більше 90% являють собою рідку текучу масу; при вологості 86 – 90% мають консистенцію сметани; при вологості 82 – 86% схожі на рідку грязюку, а при більш низькій вологості мають вигляд злегка вологої землі. Активний мул вже при вологості 88 – 91% має консистенцію сметани, а при 85 – 87% і нижче має вигляд вологої землі.

Велика частина вологи осадів знаходиться в зв'язаному стані, тому вони мають погану водовіддачу. Як зазначалося вище, органічна частина осадів швидко гниває, виділяючи неприємний запах; при цьому збільшується число колоїдних і дрібнодисперсних часток, що викликає подальше погіршення водовіддавальної здатності осадів.

Елементарний склад сухої речовини осадів коливається в широких межах. Суха речовина сирих осадів має наступний склад (% маси сухої речовини осаду): 35,4 – 87,8 С; 4,5 – 8,7 Н; 0,2 – 2,7 S; 1,8 – 8 N; 7,6 – 35,4 O; суха речовина активного мулу містить, %: 44,0 – 75,8 С; 5 – 8,2 Н; 0,9 – 2,7 S; 3,3 – 9,8 N; 12,5 – 43,2 O. В осадах містяться сполуки кремнію, алюмінію, заліза, оксиди кальцію, магнію, калію, натрію, цинку, хрому, нікелю та ін. (табл. 1.1).

Хімічний склад осадів робить істотний вплив на їх водовіддачу. Сполуки заліза, алюмінію, хрому, міді, а також кислоти, луги та деякі інші

речовини, що містяться у виробничих стічних водах, сприяють інтенсифікації процесу зневоднення осадів і знижують витрату хімічних реагентів на їх коагуляцію перед зневодненням. Масла, жири, азотисті сполуки, волокнисті речовини є, навпаки, несприятливими компонентами. Оточуючи частинки осаду, вони порушують процеси ущільнення та коагуляції, а також збільшують вміст органічних речовин в осаді, що позначається на погіршенні його водовіддачі.

Таблиця 1.1 Хімічний склад мінеральної складової осадів

Тип осаду	Вміст*, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
З первинних відстійників	21,4 – 55,9	0,3 – 18,9	3,0 – 13,9	11,8 – 35,9	2,1 – 4,3	0,7 – 3,4
Активний мул	17,6 – 33,8	7,3 – 26,9	7,2 – 18,7	8,9 – 16,7	1,4 – 11,4	0,8 – 3,9
Зброджена суміш осаду первинних відстійників активного мулу	27,3 – 35,7	8,7 – 9,3	11,4 – 13,6	12,5 – 15,6	1,5 – 3,6	1,8 – 2,8
Тип осаду	Вміст*, %					
	Na ₂ O	SO ₃	ZnO	CuO	NiO	Cr ₂ O ₃
З первинних відстійників	0,8 – 4,2	1,8 – 7,5	0,1 – 0,6	0,1 – 0,8	0,2 – 2,9	0,8 – 3,1
Активний мул	1,9 – 8,3	1,5 – 6,8	0,2 – 0,3	0,1 – 0,2	0,2 – 3,4	0 – 2,4
Зброджена суміш осаду первинних відстійників активного мулу	2,6 – 4,7	3,0 – 7,2	0,1 – 0,3	0,2 – 0,3	0,2 – 1,0	1,3 – 1,9

*Окрім наведених, в осадах стічних вод міститься ряд інших сполук та мікроелементів.

Водовіддача осадів багато в чому залежить від розміру часток їх твердої фази. Рядом дослідників, які займалися вивченням водовіддачі різних суспензій, встановлено, що чим більше розміри часток твердої фази, тим краще водовіддача суспензій. Дисперсна фаза осадів включає частинки органічного і мінерального походження різних розмірів, форми та властивостей [1-5].

1.2 Термінологія і класифікація осадів

Осади виділяються в результаті очищення побутових, сільськогосподарських і промислових стічних вод. До осадів відносяться всі домішки (нерозчинені і розчинені), затримані головним чином первинними і вторинними відстійниками, флотаційними, фільтраційними та іншим обладнанням після механічного, біологічного і фізико-хімічного очищення. Осади побутових стічних вод у порівнянні з виробничими по складу більш однорідні.

Усі домішки в осадах стічних вод діляться на органічні і мінеральні. Основним хімічним елементом органічних речовин є вуглець; у них є також фосфор, сірка, водень. У деяких домішках утримується багато

бактеріальних включень (бактерії, дріжджові і цвілеві гриби) і планктон. Мінеральні домішки містять у собі частки ґрунту, шлаків, руди, металів, масла та інших речовини.

У нерозчинених домішках побутових стічних вод органічні речовини становлять 75-80%, а мінеральні – 25-20%. Розміри часток зважених речовин коливаються від часток міліметра до 0,1 мкм, а колоїдних – від 0,1 до 0,001 мкм.

Осади виробничих стічних вод за складом досить різноманітні. В основному вони складаються із залишків оброблюваної сировини і реагентів, що брали участь у технологічному процесі. До забруднень цих стоків можуть відноситись токсичні і шкідливі сполуки, такі як феноли, синтетичні поверхово активні речовини, важкі метали (ртуть, свинець, кадмій, цинк та ін.).

Основну масу осадів становлять домішки, затримувані у відстійниках, флотаторах, фільтрах. Домішки залежно від розмірів часток, їх питомої маси і умов поділу осаджуються, спливають на поверхню води або залишаються у воді у зваженому стані. Таким чином домішки, що осідають, становлять лише частину зважених речовин. Для побутових стічних вод осідаючі нерозчинені домішки при 2-годинному відстоюванні рівні. В середньому 40 г сухих речовин припадає на одну людину за добу. Загальна маса зважених речовин складає (65 г), що становить 60%.

Крім нерозчинених зважених речовин, на очисній станції виділяються і затримуються розчинені домішки, які можуть бути переведені у тверду фазу і вилучені зі стічних вод за допомогою біологічного і фізико-хімічного очищення.

У технічній літературі немає загальноприйнятої класифікації осадів стічних вод, так само як і не встановлена термінологія для тих або інших домішок. Існують суперечливі думки про правильне розуміння і вживання слів: «осади», «осад», «шлам», «мул», «осади сирі» або «осади свіжі».

У літературних джерелах уживаються, у тому числі і, такі жаргонні терміни, як «хвости» (відходи стоків збагачувальних фабрик), «скіп» (волоконні осади стоків целюлозно-паперової промисловості), «елюати» (домішки, одержувані при іонообмінному очищенні промивних стічних вод гальванічних виробництв), «дефекаційний бруд», «дефекат», «фільтраційний осад» (терміни, які застосовуються до осадів цукрових заводів), та ін.

Осади стічних вод являють собою домішки у твердій фазі, виділені з води в результаті механічного, біологічного і фізико-хімічного очищення або комбінації цих методів очищення стоків.

Залежно від способу очищення, а також від фазово-дисперсного стану домішок розрізняють осади первинні і вторинні.

До первинних осадів відносяться грубодисперсні домішки I групи, які перебувають у твердій фазі і виділені з води методами механічного

очищення (седиментація, фільтрація, флотація, осадження у відцентровому полі). Розмір часток цих домішок більш 10-5 см.

До вторинних осадів відносяться домішки II, III і IV груп, що перебувають у воді у вигляді колоїдів, молекул, іонів, які можуть бути переведені у тверду фазу і вилучені зі стічної води лише в результаті біологічного і фізико-хімічного очищення. Розмір цих домішок 10-5-10-7 см.

Вторинні осади поділяються на домішки колоїдної і молекулярної дисперсності II і III груп, виділені зі стічної води у тверду фазу в результаті біологічного очищення, – активний мул, біоплівка (розміри часток цих домішок 10-5-10-6 см) і на домішки молекулярної та іонної дисперсності III і IV груп, виділені з води у тверду фазу в результаті фізико-хімічного очищення, - шлами (розміри часток цих домішок 10-6-10-7 см).

Таким чином, до основних видів осадів стічних вод відносяться первинні осади, активний мул (біоплівка) і шлами. Усі вони об'єднані загальним терміном «осади».

Поряд з термінологією осадів стічних вод залежно від методів очищення необхідно уточнити їхню класифікацію з урахуванням способів їх виділення і обробки (табл. 1.2).

Розрізняють три форми зв'язку води з твердими частинками в осаді: вільну, колоїдно-зв'язану і хімічно зв'язану. При видаленні з осадів вільної води об'єм змінюється обернено пропорційно вмісту сухих речовин і може бути визначений за формулою:

$$V_2 = V_1(100 - W_1)/(100 - W_2) \quad (1.1)$$

де V_1 , V_2 – обсяг відповідно початковий і змінений, м³. W_1 , W_2 – вологість відповідно первинна і змінена, %. Формула (1.1) може бути використана при вологості більше 70-80%.

1.3. Склад і властивості осадів

Основні властивості осадів (форми зв'язку води, питомий опір, пластичність, в'язкість, а також хімічні та фізико-механічні особливості) багато в чому залежать від вологості, яка у вихідних опадах зазвичай знаходиться в межах 99,7 ... 90%.

Осади грубі (відходи), затримувані ґратами. До складу відходів входять великі зважені і плаваючі домішки, переважно органічного походження. До складу цих відходів входять наступні компоненти (%): папір – 68,5; ганчір'я – 26,6; дерево, солома – 1,9; кухонні відходи – 2,7; кістки – 0,3.

Кількість відходів, затримуваних ґратами із зазорами 16–20 мм, на одну людину в рік становить у середньому 8 л при вологості 80% і об'ємній масі 750 кг/м³.

Затримані відходи подрібнюють з наступним випуском їх у канал перед ґратами. Для переробки і використання ці відходи можуть направлятися в метантенки, на піролізні установки разом з іншими осадами або для одержання компостного добрива разом зі сміттям.

Таблиця 1.2 Класифікація осадів

Група осадів або домішок	Класифікація осадів	Споруди і устаткування, що затримують осад або їх оброблюють
I	Осади грубі (відходи).	Ґрати, сита
II	Осади важкі.	Пісколовки
III	Осади плаваючі.	Жирівки, відстійники
IV	Осади первинні, сирі, виділені зі стічної води в результаті, механічного очищення і не піддані обробці.	Відстійники первинні, осветлители
V	Осади вторинні, сирі, виділені зі стічної води після біологічного і фізико-хімічного очищення.	Відстійники вторинні, флотатори
VI	Осади зброджені, що пройшли обробку в анаеробних перегнивачах або осаді стабілізованих аеробних стабілізаторів.	Септики, двох'ярусні відстійники, освітлювачі, перегнивачі, метантенки, аеробні стабілізатори
VII	Осади ущільнені, піддані згущенню до границі текучості (до вологості 90-85%).	Ущільнювачі: гравітаційні, термогравітаційні, флотаційні, сепаратори, термофлотаційні, центрифуги-ущільнювачі, майданчики граничного ущільнення.
VIII	Осади зневоднені, піддані згущенню до вологості 80-40%	Намулові майданчики і площадки: високопродуктивні, вакуум-фільтри, центрифуги, фільтр-преси, шнекові преси та ін.
IX	Осади сухі, піддані термічному сушінню до вологості 5-40%	Сушарки: барабанні, вальцові, з киплячим шаром, із зустрічними струменями, камерні, стрічкові та ін.

Осади важкі, затримувані пісколовками. Їхній склад у побутових стічних водах: пісок, уламки окремих мінералів, цегла, вугілля, кості, зерна, бите скло і т.п. Кількість затримуваних важких домішок на одну людину протягом доби становить 0,02 л, або 72 л у рік, при вологості 60% і об'ємній масі 1,5 т/м³. Затримувані важкі осади добре підсушуються на піскових майданчиках і після знешкодження можуть використовуватися для підсипання територій або інших цілей.

Осади плаваючі (жирові речовини), затримувані жироловками або спливаючі у відстійниках. Кількість цих домішок у побутових стоках на одну людину в рік становить 2 л при вологості 60% і об'ємній масі 0,6 т/м³. У стічних водах харчової промисловості кількість виділюваних жирових речовин у багато разів більше ніж у побутових стоках, і досягає 2 кг/м³. Виділення жирових речовин поліпшує процес очищення стічних вод, полегшує обробку осадів і дозволяє ефективно використовувати жирові відходи.

Осади первинні (сирі), затримувані первинними відстійниками. У побутових стічних водах ці осади являють собою драглисту, грузлу суспензію із кислуватим запахом, що не втратила ще своєї структури (рис.1.1). Органічні речовини в них становлять 75-80%; вони швидко загнивають, видаючи неприємний запах. Вологість первинного осаду при самопливному видаленні після 2-годинного відстоювання складає 95%, а при видаленні з відстійника плунжерними насосами – 94-93%. Механічний склад первинних осадів відрізняється великою неоднорідністю. Величина окремих часток коливається від 10 мм і більше до часток колоїдної і молекулярної дисперсності [3, 5-8]



Рис.1.1 Структура первинних осадів (збільшена в 100 разів)

Кількість нерозчинених зважених домішок, що осідають у первинному відстійнику, при 2-годинному відстоюванні (з урахуванням 60%-ного ефекту) для побутових стоків в абсолютно сухій масі на одну людину складає 40 г на добу, або 14,4 кг на рік.

Осади вторинні (активний мул, біоплівка і шлами). Активний мул, затримуваний вторинними відстійниками після аеротенків, представляє біоценоз мікроорганізмів і найпростіших, має властивість флокуляції. Структура активного мулу (рис.1.2) представляє пластівчасту масу бурого кольору. У свіжому виді активний мул майже не має запаху або пахне землею, але, загниваючи, видає специфічний гнильний запах.

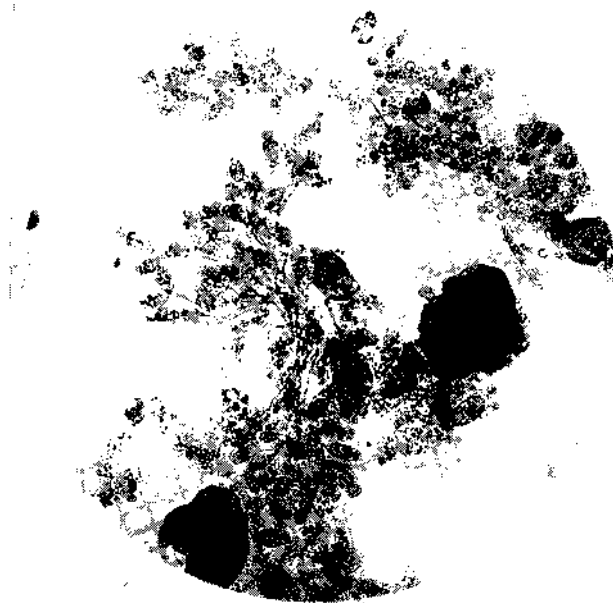


Рис.1.2 Структура активного мулу із вторинних відстійників після аеротенків (збільшена в 100 разів)

За механічним складом активний мул відноситься до тонких суспензій, що складаються на 98% по масі із часток розмірами менше 1 мм. Активний мул відрізняється високою вологістю 99,2-99,7%. Після відстійників-ущільнювачів вологість зменшується найчастіше до 98%, а при флотаційному ущільненні – до 97-96%, у термогравітаційних ущільнювачах – до 95- 96%. В інших спеціальних ущільнювачах вологість активного мулу може бути знижена до 90%.

Кількість надлишкового активного мулу для побутових стічних вод на одну людину за добу дорівнює 28 г при вологості 96%.

Шлами, затримувані відстійниками або іншим обладнанням після фізико-хімічного очищення. Найчастіше шлами виділяються в результаті локального очищення або доочищення промислових стічних вод із застосуванням реагентної обробки, фільтрування, електролізу, адсорбції, іонного обміну, зворотного осмосу, екстракції та інших методів.

Осади зброжені. У двох'ярусних відстійниках процес розпаду осадів відбувається при лужному шумуванні ($pH=7\div 8$) і за 1–7 місяців (залежно від кліматичних умов) досягає 50%. Тут розпад органічних речовин не зупиняється, як у септиктенку, на першій фазі кислого шумування, а проходить і другу фазу – лужного шумування з виділенням метану і вуглекислоти.

Структура зброженого осаду більш дрібна і однорідна, колір – майже чорний або темно-сірий, вологість досягає 85%, але при випуску складає 90%. Такі осади відрізняються гарною плинністю, легко зневоднюються, виділяють запах сургучу або асфальту.

У метантенках, як і у двох'ярусних відстійниках, процес розпаду здійснюється в лужному середовищі, але протікає більш швидко завдяки

підігріванню осадів, перемішуванню і дотриманню відсотка завантаження сирими осадами. При мезофільному зброджуванні і температурі підігріву до 27–32 °С процес розпаду триває 25–20 днів і менше.

При термофільному шумуванні і температурі підігріву осаду до 50–55°C розпад його протікає більш глибоко і швидко і триває 10 – 8 днів. У метантенках розпад осадів супроводжується виділенням великої кількості метану придатного для використання.

Осади з аеробних стабілізаторів. Перевага цього способу зброджування полягає у відсутності запаху, меншій вибухонебезпечності споруд, більш простій експлуатації і меншій будівельній вартості. Але аеробна стабілізація пов'язана з додатковими енерговитратами на аерування. Для стабілізації 1 м³ активного мулу потрібна витрата повітря 150–240 м³, а для стабілізації 1 м³ суміші активного мулу з первинним осадом – 240–340 м³. Аерування активного мулу або суміші мулу з осадом при температурі 10–20°C триває 8–15 днів, що призводить до мінералізації органічних речовин на 30–40%. Органічні речовини, що залишилися, є практично стабільними.

Після аеробної стабілізації осади ущільнюються у відстійниках за 5-15 год до вологості 98-96%, при цьому поліпшується їхня водовіддача. При стабілізації бактерії солі гинуть на 95%, але яйця гельмінтів не зникають, тому осади після аеробної стабілізації потребують знезаражування.

Бактеріальна заселеність осадів. В осадах, як і в стічній воді, можна знайти всі основні форми бактерій: паличкоподібні (циліндричні), до яких відносяться бацили, диплобацили і диплобактерії; кулясті (еліпсоїдні), до яких відносяться всі шість видів коків; звиті, які підрозділяються на спірохети, спірили і вібріони.

До мікроорганізмів відносяться також дріжджі і цвілі. Бактеріальна заселеність осадів на порядок вище, чим стічних вод. Осади побутових стоків містять багато гельмінтів (яйця глистів). При термофільному зброджуванні яйця глистів повністю гинуть. Те ж спостерігається при термогравітаційному або термофлотаційному ущільненні осадів.

Бактеріальна заселеність осадів величезна. Наприклад, в 1 см³ сирого первинного осаду вологістю 94,3% утримується близько 42 млн. бактерій по «прямому рахункові», а в 1 г сухої речовини – від 740 тис. до 1 млн. Якщо прийняти в середньому діаметр бактеріальної клітини рівним 0,001 мм, то сумарний об'єм 100 млн. бактерій, що втримуються, наприклад, в 1 см³ осаду, складе близько 0,4 см³ з масою приблизно 400 мг. При вмісті води в бактеріях, рівному 80–85%, суха речовина складе 60–80 мг/см³ осаду.

Хімічний склад. Знання хімічного складу осадів необхідно для визначення найбільш раціональних шляхів їх використання і обробки. У табл. 2 поданий загальний хімічний склад осадів міських стічних вод, а в

табл. 3 – хімічний склад їх мінеральної частини. В останній графі табл. 1.3, 1.4 зазначені невраховані аналізом сполуки. До них у сирих осадах відносяться головним чином білкові речовини, а в зброджених – гумінові сполуки, що підвищують цінність осаду як добрива.

Таблиця 1.3 Загальний хімічний склад осадів, % до абсолютно сухої речовини

Типи осадів	Зола	Бензолні речовини	Альфацеллюлоза	Геміцеллюлоза	Жири	Загальний азот	Фосфор	Калій	Клітковина	Невраховані сполуки
Первинні сирі	10,1–27,98	89,9–72,02	7,52–12,0	7,68–25,4	14,3–17,0	3,2–3,66	1,4–2,11	0,2	-	33
Первинні зброжені в метантенках мезофільне шумування	28–40	59–72	2,8–9	5,8–9	7,6–9	3–4,3	2,4–4,8	-	-	35
термофільне шумування	41,37	58,6	1,6	6,0	9,0	3,8	4,9	-	-	28
Активний мул із вторинних відстійників після аеротенків	24,5–26,2	74,0–75,6	0,74–2,58	3,0–6,10	7,11–7,90	7,28–6,74	5,39	-	-	-

Таблиця 1.4 Хімічний склад мінеральної частини осадів, % до абсолютно сухої речовини

Типи осадів	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
Первинні сирі	8,4–55,9	0,3–18,9	3,0–13,9	11,8–	2,1–4,3	0,7–3,4
Активний мул	7,6–33,8	7,3–26,9	7,2–18,7	35,9 8,9–	1,4–11,4	0,8–3,9
Зброжені (суміш первинних з активним мулом)	27,3–35,7	8,7–9,3	11,4–13,6	16,7 15,6	1,5–3,6	1,8–2,8
Типи осадів	Na ₂ O	SO ₃	ZnO	CuO	NiO	Cr ₂ O ₃
Первинні сирі	0,8–4,2	1,8–7,5	0,1–0,6	0,1–0,8	0,2–2,9	0,8–3,1
Активний мул	1,9–8,3	1,5–6,8	0,2–0,3	0,1–0,2	0,2–3,4	0–2,4
Зброжені (суміш первинних з активним мулом)	2,6–4,7	3,0–7,2	0,1–0,3	0,2–0,3	0,2–1,0	1,3–1,9

Механічний склад і дисперсність. Механічний склад осадів відрізняється великою неоднорідністю. Розміри окремих часток коливаються від 10 мм і більш до часток колоїдної й молекулярної дисперсності.

Як відомо, ступенем дисперсності називається величина, зворотна діаметру часток тіла, а саме: $D=1/d$, де d – діаметр часток, см. Розрізняють макроскопічну дисперсність, де D у межах $0-10^{-2,5}$, мікроскопічну, де D у межах $10^{-2,5}-10^{-4}$, колоїдну, де D у межах $10^{-4}-10^{-6}$, атомну і молекулярну, де D у межах $10^{-6}-10^{-7}$.

Для багатьох осадів виробничих стічних вод ступінь дисперсності в багато разів більший, чим для побутових осадів. Так, наприклад, для

багатьох гідролізних заводів, отримані величини гранулометричного складу (у відсотках до сухої речовини), наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 Гранулометричний склад осадів гідролізних заводів

Типи осадів	Вологість, %	Розміри часток, мкм	Вміст, %
Первинний осад	95–97	1000-250	26,8
		250-100	5
		100-10	2,2
		100 і менше	66,0
Активний мул із вторинних відстійників після аерофільтрів	96–98	1000-250	6,4
		250-100	5
		100-10	2,2
		10 і менше	86,4
Активний іл із вторинних відстійників після аэротенков	99,2–99,7	1000–250	0
		250–100	4
		100–10	91,3

1.4 Питомий опір осадів фільтрації

У хімічній технології та інших галузях промисловості фільтрувальність суспензій характеризується питомим опором осаду. В даному випадку під осадом мається на увазі шар кеку, що відкладається на фільтрі при фільтруванні суспензій.

В якості визначального параметра водовіддачі суспензій запропоновано використовувати питомий опір осаду, яким можна характеризувати фільтрувальність різних суспензій, у тому числі таких важкофільтрувальних, як мулові суспензії стічних вод. Чим більше питомий опір, тим гірше фільтрація і зневоднення. Питомий опір можна зменшити обробкою осадів хімічними реагентами, впливом теплом або холодом.

Питомий опір осаду – опір одиниці маси твердої фази, що відкладається на одиниці площі фільтра при фільтруванні під постійним тиском суспензії, в'язкість рідкої фази якої дорівнює 1,0.

Відповідно до сучасної теорії фільтрування суспензій, питомий опір осаду r' , що характеризує опір фільтрації і фільтрувальність (водовіддачу) осадів, визначається за формулою (1.2):

$$r' = \frac{2pF^2}{\eta C'} \cdot b, \quad (1.2)$$

де p – тиск (вакуум), при якому відбувається фільтрування; F – площа фільтрувальної поверхні; η – в'язкість фільтрату; C' – маса твердої фази кека, що відкладається на фільтрі при отриманні одиниці об'єму фільтрату; $b = \tau/V^2$ – параметр, отриманий експериментально (тут τ – час фільтрації; V – об'єм фільтрату, що видаляють).

Тривалість циклу зневоднення осадів (час утворення кеку, його підсушування і продування) встановлюється відповідно до обраного часом фільтроциклу виробничих вакуум-фільтрів. Наприклад, при моделюванні процесу зневоднення осаду на вакуум-фільтрах із східним полотном час занурення воронки може становити 35%, час підсушування – 45% і час на перехід в зону продування і зняття осаду – 20% тривалості фільтроциклу. Працюючи при різній тривалості фільтроциклу, можна визначити оптимальну продуктивність вакуум-фільтра і вологість кеку.

Тривалість фільтрування залежить від швидкості віддачі води осадом; для отримання достатнього числа відліків, як правило, воно не перевищує 20 хв.

Знаючи обсяги фільтрату $V'_1, V'_2, V'_3, \dots, V'_n, \text{ см}^3$, що виділилися відповідно за проміжки часу фільтрування $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n, \text{ с}$, знаходять параметр b . Параметр b визначають зазвичай графічно в координатах V - τ/V . Залежність між цими величинами повинна бути прямолінійною. Практично ж в початковій і кінцевій стадіях фільтрування осадів спостерігаються відхилення від прямолінійної залежності. У початковій стадії фільтрування відхилення пов'язані з коливаннями вакууму, а в кінцевій – із закінченням виділення вільної води осадами.

При зневодненні попередньо оброблених осадів (після промивки і коагуляції) їх фільтрування відбувається значно інтенсивніше, але при досягненні твердою фазою концентрації 18 – 35% процес фільтрування також різко сповільнюється. Такий осад легко відділяється від фільтрувальної тканини, а подальше його фільтрування призводить до розтріскування кеку.

Чим вище питомий опір, тим осад гірше фільтрується і тим більше потрібно часу для досягнення граничної концентрації, при якій починається відхилення від прямої.

При коагуляції зменшується вміст зв'язаної води в осаді, в зв'язку з чим гранична концентрація сухої речовини, що характеризує застосовуваність формули (1.2), зростає.

Для шламу, який являє собою осад мінерального походження і виходить при нейтралізації вапном травильних розчинів, відхилень від прямої при визначенні параметра b не спостерігалось.

При механічному зневодненні осадів міських стічних вод виділяється в основному вільна вода, тому формула (1.2) для визначення питомого опору цілком застосовна до осадів цих стічних вод. Однак пряма

для визначення параметра b повинна будуватися за середніми точками, відповідними рівномірному фільтруванню, при цьому виключаються зазначені вище відхилення.

У зв'язку з тим, що зневоднені осади стічних вод відносяться до категорії стиснутих матеріалів, що деформуються при збільшенні тиску, то питомі опори осадів із збільшенням тиску підвищуються. Наші досліді підтвердили це положення і показали, що питомий опір, який використовується як параметр, що характеризує водовіддачу осадів, з метою зіставлення повинен визначатися для різних осадів при одному і тому ж постійному тиску. Питомий опір осадів рекомендується визначати у вакуумі 0,067 МПа (500 мм рт. ст.).

В'язкість фільтрату при визначенні питомого опору осаду приймається рівною в'язкості води при тій же температурі. При нагріванні осадів в'язкість фільтрату знижується при температурі 40° С до 0,7 – 0,89, при 60° С до 0,5 – 0,72 МПа·с (сантипуаз), при цьому більш концентрований осад має велику в'язкість фільтрату. При зниженні в'язкості збільшується швидкість виділення фільтрату, що призводить до зниження питомого опору осаду.

Для розрахунку питомого опору за формулою (1.2), окрім постійного тиску фільтрування (вакуума) p і площі воронки Бюхнера F , необхідно визначати параметр b та величину C' . Маса твердої фази кека C' , що відкладається на фільтрі в процесі отримання одиниці об'єму фільтрату, може бути визначена за формулою (1.3):

$$C' = \frac{\rho' \sigma \cdot (1000 - W_k)}{100 \cdot [100 - (W_k + \sigma)]}, \quad (1.3)$$

де ρ' – густина фільтрату, кг/м³; σ – концентрація твердої фази осаду, %; W_k – вологість кеку, %.

Для осадів міських стічних вод величину C' у формулі (1.2) умовно можна прийняти рівною величині C , яка визначається з виразу (1.4):

$$C = \frac{100 - W_i}{100} \cdot \rho, \quad (1.4)$$

де C – концентрація твердої фази осаду, кг/м³; W_i – вологість вихідного осаду, %; ρ – густина осаду, кг/м³.

Після заміни C' на C формула (1.2) набуває наступного вигляду:

$$r = 2pF^2b / \eta C. \quad (1.5)$$

Якщо позначити сталі $2\rho F^2 b/\eta$, що входять в рівняння (1.5), через K , то формула матиме вигляд:

$$r = Kb / C. \quad (1.6)$$

Заміри об'єму фільтрату в циліндрі простіше робити в мл або см^3 . При визначенні параметра b в $\text{с}/\text{см}^6$ і концентрації осаду C в $\text{г}/\text{см}^3$ величина r вимірюється в $\text{см}/\text{г}$.

При спрощеній методиці визначення питомого опору осадів стічних вод використовується установка, зображена на рис. 1.3

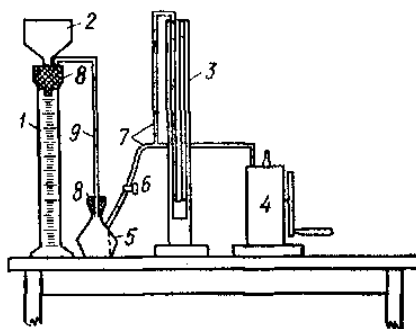


Рис. 1.3 Схема установки для визначення питомого опору осадів
1 – мірний циліндр; 2 – воронка Бюхнера; 3 – ртутний вакуум-метр; 4 – вакуум-насос; 5 – колба Бунзена або бутиль-ресивер; 6 – запірний кран; 7 – гумовий шланг; 8 – гумові пробки; 9 – трубка.

На дно воронки Бюхнера укладають злегка змочену водою фільтрувальну тканину, вирізану по діаметру воронки. При відсутності тканини може бути використаний подвійний паперовий фільтр. При визначенні питомого опору осаду не рекомендується користуватися новою фільтрувальною тканиною, так як в процесі фільтрування відбувається її набрякання і частина осаду заповнюватиме пори. Зазвичай застосовують тканину, що вже кілька разів була у використанні. Після кожного визначення тканину промивають водою з милом. При закритому запірному крані включають вакуум-насос і вакуум доводять до заданого значення. Якщо вакуум-насос працює від електродвигуна, то кран встановлюють на трубці, а в гумовій пробці колби Бунзена або бутля-ресивера, що служить для запобігання потрапляння вологи в вакуум-насос, встановлюють додатковий запірний кран для регулювання величини вакууму. Мірний циліндр з'єднується з ресивером за допомогою металевої трубки, а ресивер з вакуум-метром і вакуум-насосом з'єднується гумовими шлангами.

У воронку Бюхнера наливають 200 – 300 мл попередньо перемішаного осаду (мулу) і відкривають кран. При цьому відбувається

деяке падіння вакууму та його знову піднімають до потрібного значення. Потім за допомогою мірного циліндра заміряють об'єм фільтрату, отриманого при підвищенні вакууму до заданого значення, одночасно вмикають секундомір. Подальше фільтрування проводять при постійному вакуумі. Кількість фільтрату що утворюється заміряють спочатку за більш короткі проміжки, а через деякий час швидкість фільтрування сповільнюється і проміжок часу вимірів одержуваного обсягу фільтрату можна збільшити.

Нижче наведені приклади визначення питомого опору r при $F = 50,24 \text{ см}^2$, $p = 0,067 \text{ МПа}$ (500 мм. рт. ст.), $\eta = 0,01 \text{ П}$ та $K = 33,6 \cdot 10^{10}$.

Приклад 1. Визначити питомий опір сирого осаду за результатами замірів, наведених у табл. 1.6.

Таблиця 1.6 Результати замірів об'єму фільтрату при визначенні питомого опору сирого осаду

$\tau, \text{ с}$	V'	$V = V' - V_0$	$\tau/V, \text{ с/см}^3$	$\tau, \text{ с}$	V'	$V = V' - V_0$	$\tau/V, \text{ с/см}^3$
	см^3				см^3		
0	60	-	-	480	114	54	8,90
60	76	16	3,74	540	118	58	9,31
120	86	26	4,80	600	122	62	0,67
180	91	31	5,81	720	128	68	10,60
240	97	37	6,50	840	132	72	11,62
300	102	42	7,15	960	135	75	12,80
360	106	46	7,84	1080	137	77	14,00
420	111	51	8,23				

Графік побудови параметра $b = m/n$ для сирого осаду наведено на рис. 1.4, а. Значення b для довільно обраних точок 1 – 3 наступне:

$$b_1 = (5,1 - 1,6)/26 = 0,134; \quad b_2 = (8,5 - 1,6)/52 = 0,133;$$

$$b_3 = (12 - 1,6)/78 = 0,133; \quad b_{\text{ср.}} = 0,133.$$

При $C = 0,0643 \text{ г/см}^3$:

$$r = 33,6 \cdot 10^{10} \cdot 0,133 / 0,0643 = 69,6 \cdot 10^{10} \text{ см/г.}$$

Приклад 2. Визначити питомий опір активного мулу з вторинних відстійників за результатами замірів, наведених в таблиці 1.7.

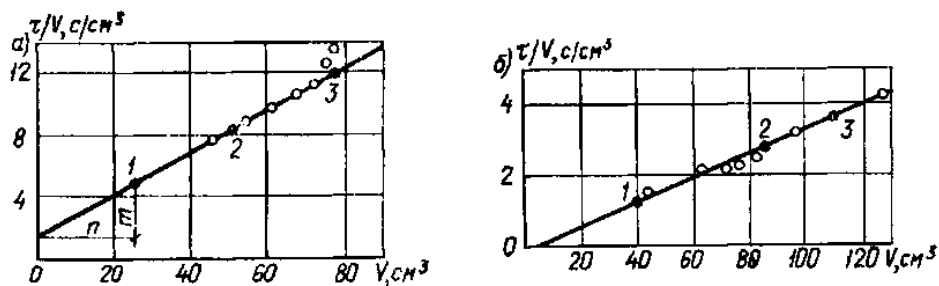


Рис. 1.4 Графік побудови параметра b при визначенні питомого опору r де а) – сирого осаду; б) – активного мулу з вторинних відстійників

Таблиця 1.7 Результати замірів об'єму фільтрату при визначенні питомого опору активного мулу

τ, c	V'	$V = V' - V_0$	$\tau/V, c/cm^3$	τ, c	V'	$V = V' - V_0$	$\tau/V, c/cm^3$
	cm^3				cm^3		
0	30	-	-	240	117	87	2,76
30	60	30	1	300	127	97	3,12
60	73	43	1,40	360	135	105	3,43
90	84	54	1,65	420	143	113	3,76
120	92	62	1,93	480	150	120	4
150	100	70	2,15	540	157	127	4,25
180	106	76	2,57	600	162,5	132,5	4,5
210	112	82	2,56				

Графік побудови параметра b для активного мулу з вторинних відстійників наведено на рис. 1.4,б. Значення b для довільно обраних точок 1 – 3 наступне:

$$b_1 = 1,2 / (40 - 5,0) = 0,0342; \quad b_2 = 2,8 / (87,5 - 5,0) = 0,0339;$$

$$b_3 = 3,6 / (110 - 5,0) = 0,0342; \quad b_{ср.} = 0,0341.$$

При $C = 0,0048 \text{ г/см}^3$:

$$r = 33,6 \cdot 10^{10} \cdot 0,0341 / 0,0048 \approx 240 \cdot 10^{10} \text{ см/г.}$$

Питомі опори однотипних осадів міських станцій аерації піддані значним коливанням. Так, значення питомого опору осадів первинних відстійників, отриманих на різних станціях, склали $(30 \dots 990) \cdot 10^{10} \text{ см/г}$, що може бути пояснено відмінностями складу стічних вод, що надходять на станції, і головним чином впливом виробничих стічних вод.

Залежність питомого опору осадів від характерних особливостей стічних вод наведено в табл. 1.8.

Сирі осадки первинних відстійників і неущільнений активний мул міських станцій аерації мають значно менші питомі опори, ніж зброжені осадки. При цьому найбільший питомий опір має осадок, зброжений в термофільних умовах.

Питомий опір зброженого осаду залежить не тільки від типу осаду і методу його зброджування, але також від прийнятої дози завантаження (періоду зброджування) і способу перемішування осаду в метантенках. При тривалому перебуванні осаду в метантенках його питомий опір може знижуватися. Якщо при зброджуванні осаду не відбувається збільшення ступеня дисперсності частинок внаслідок перемішування, то питомий опір осаду змінюється незначно. Таке явище спостерігалось, наприклад, на очисній станції м. Брекнелл (Англія), де зброджуванню з невеликою дозою завантаження піддавався осад первинних відстійників і на станції аерації Ашер в м. Парижі (Франція), де зброджування проводилось в двоступінчатих “мезофільних” метантенках з перемішуванням вмісту шляхом рециркуляції газів бродиння [2-4, 9-14].

Таблиця 1.8 Залежність питомого опору сирих осадів первинних відстійників від особливостей стічних вод

Характерна особливість міських стічних вод	Вологість осаду, %	Питомий опір, $\text{r} \cdot 10^{-10}$, см/г
Переважає виробничих стічних вод машинобудівних і металургійних заводів	91—96	50—300
Переважає побутових стічних вод	94—97	150—400
Переважає виробничих стічних вод заводів синтетичного каучуку	92—95	200—400
Переважає виробничих стічних вод текстильних підприємств	95-97	300—700
Вміст (більше 50%) виробничих стічних вод різноманітних промислових підприємств	93—96	300—1000

У більшості випадків зброджування осадів, незважаючи на мінералізацію, погіршує їх водовіддачу. Тому при зневодненні сирих осадів може бути досягнута більш висока продуктивність вакуум-фільтрів і фільтр-пресів, ніж при зневодненні зброджених осадів. Це підтверджується нашими дослідженнями, досвідом експлуатації ряду зарубіжних станцій і даними зарубіжних дослідників.

Питомий опір активного мулу коливається від $75 \cdot 10^{10}$ до $7860 \cdot 10^{10}$ см/г. Наші дослідження показали, що на питомий опір активного мулу (крім його специфічного стану) великий вплив чинить його вихідна концентрація. Питомий опір різко збільшується з підвищенням концентрації мулу. Таким чином, прагнення ущільнити активний мул з метою максимального підвищення його концентрації приводить до зростання питомого опору, і, отже, до зниження ефективності його зневоднення. Зброджений активний мул має більш високий питомий опір, ніж зброджений осад первинних відстійників. Для суміші зброженого

активного мулу зі збродженим осадом первинних відстійників питомий опір суміші може бути визначено за формулою змішування.

Аеробна стабілізація так само, як і анаеробне зброджування, збільшує питомий опір ущільненого активного мулу і осаду первинних відстійників. Однак у процесі аеробної стабілізації водовіддача неу ущільненого активного мулу і суміші його з осадом первинних відстійників поліпшувалася.

Вище було показано, що водовіддача осадів залежить від гранулометричного складу їх твердої фази. Встановлено, що із збільшенням розміру часток твердої фази питомий опір осаду знижується.

На питомий опір, істотний вплив чинить електрокінетичний потенціал частинок осадів (ζ -потенціал). Середній електрокінетичний потенціал грубодисперсних частинок осаду розміром від 1 мкм до 1 мм становить – 15 мВ, а колоїдних частинок розміром від 1 нм до 1 мкм – 35 мВ. Для початку коагуляції грубодисперсних домішок необхідно знизити ξ -потенціал до мінус (7...10) мВ, а колоїдних до ± 5 мВ. Коагуляція осадів хімічними реагентами, що викликає нейтралізацію заряду і укрупнення частинок, призводить до різкого зниження їх питомого опору.

Дослідження показують, що питомий опір слід прийняти в якості узагальнюючого параметра, який дозволить враховувати зміни складу і властивостей осадів і може служити вихідною величиною при виборі методу обробки осадів та розрахунку відповідних споруд. Необхідно враховувати взаємозв'язок процесів очищення стічних вод та обробки осадів, прагнучи до зменшення обсягу осадів та отриманню останніх з низькими значеннями питомого опору фільтрації. При експлуатації споруд слід враховувати, що питомий опір осадів істотно підвищується при тривалому ущільненні, зберіганні необезводнених осадів, збільшенні кількості активного мулу і деяких інших процесів. Процеси обробки осадів по можливості повинні вибиратися такими, щоб питомий опір не підвищувався. Питомий опір легше підвищити, ніж потім знижувати його.

Деякі дані за властивостями осаду міських стічних вод наведено в табл. 1.9.

В даний час, для характеристики водовіддачі осадів за пропонованою методикою визначення питомого опору, широко користуються проектні та науково-дослідні організації, а також міські станції аерації.

1.5 Форми зв'язку води з частинками твердої фази та їх вплив на обробку осадів

При виборі методу обробки осадів необхідно знати механізм зв'язку води з твердими частинками осаду. Відомо декілька класифікацій зв'язку води з твердими частинками суспензій. Найбільш повною є

класифікація, що виходить з того принципу, що для порушення зв'язків вологи з твердими частинками потрібно затратити певну енергію.

Таблиця 1.9 Властивості осадів міських стічних вод

Тип осадів	Вологість, %	Кількість осаду на 1 чол / добу		Питомий опір $r \cdot 10^{-10}$, см/г			Зольність сухої речовини, %
		Суша речовина, г	Об'єм вологого осаду, л	Вихідний осадок	Після коагуляції	Після промерзання	
Сирий осад первинних відстійників	92...97	25...40	0,5...0,8	50...500	5...40	10	15...30
Зброджений осад первинних відстійників в мезофільних умовах	93...96	30	0,4...0,7	350...1800	10...60	15	35
Сирий мул (ущільнений)	97	20...32	0,7...1,1	150...5000	10...50	2	20...30
Зброджений в мезофільних умовах мул	94...96	15...25	0,3...0,6	2300	150...200	–	35...40
Суміш осаду первинних відстійників і активного мулу (ущільнений)	93...97	45...70	0,6...2,3	200...1200	–	–	20...30
Зброджений осад в мезофільних умовах	92...98	30...45	0,4...2,2	1200...1600	–	–	35...40
Зброджений осад в термофільних умовах	96...97	30...45	0,75...1,5	1400...10000	–	–	40
Аеробно стабілізований мул (ущільнений)	97	15...25	0,3...0,6	4000...6000	–	–	30...35

Волога може знаходитися в хімічному, фізико-хімічному і фізико-механічного зв'язку з твердими частинками, а також існувати у формі вільної води. Хімічно зв'язана вода входить до складу речовини і не виокремлюється навіть при термічній сушці осадів; фізико-хімічним зв'язком утримується адсорбційна і осмотична волога, а фізико-механічним – капілярна вода, вода змочування і структурна волога.

Механічними методами зневоднення осадів, а також їх природним сушінням на мулових майданчиках з осадів видаляється велика частина вільної води. Фізико-механічний зв'язок порушується внаслідок випарювання або видалення вологи під тиском в апаратах, які досягають тиску, більше капілярного, і руйнують структурні зв'язки. Сила

капілярного зв'язку залежить в основному від радіуса капілярів; для капілярів з радіусом 10^{-8} , 10^{-6} і 10^{-5} м ця сила дорівнює відповідно 15, 0,15 і 0,015 МПа.

Вакуум, при якому зневоднюються на вакуум-фільтрах осаді стічних вод, становить в середньому 0,053 – 0,066 МПа (400-500 мм рт.ст.). При даному вакуумі теоретичною межею видалення вологи вакуум-фільтрацією буде видалення вологи макрокапілярів з радіусом більше $5 \cdot 10^{-6}$ м. Однак практично всю цю воду вакуум-фільтрацією видаляти нераціонально, так як швидкість водовіддачі капілярної вологи відносно мала.

Центрифугуванням або фільтр-пресуванням, при яких можливе порушення більш міцних видів зв'язку, можна добитися видалення частини зв'язаної вологи. Це підтверджується дослідями по зневодненню осадів міських стічних вод на фільтр-пресах і центрифугах, де відфільтрований осад має більш низьку вологість в порівнянні з його вологістю після вакуум-фільтрації.

Для вивчення форм зв'язку вологи з частинками твердої фази випробувані методи заморожування (кріоскопії), рефрактометрії, віскозиметрії та теплового сушіння. Перші три методи для зневоднення осадів стічних вод виявилися неприйнятними, оскільки при заморожуванні змінювалися форми зв'язку вологи; при рефрактометрії відбувалися хімічні реакції, а метод віскозиметрії не можна використати, так як в'язкість осадів змінюється в широких межах, особливо при перемішуванні. Метод теплового сушіння дає цілком прийнятні результати. Він полягає у визначенні форм зв'язку вологи шляхом вивчення кривих кінетики ізотермічного сушіння осадів. Даний метод отримав широке застосування при вивченні процесів сушіння різних осадів.

Кінетика сушіння осадів вивчалася на лабораторному вологомірі ДИ-8, який обладнаний автоматичними вагами, двома електропідігрівачами, вентилятором і електроконтактним термометром. У алюмінієві форми поміщали до 100 г досліджуваного осаду і висушували при температурі 105°C , фіксуючи вологість через певні проміжки часу. Поточні значення вологості W і вологовмісту U осадів,%, визначали за формулами:

$$W = \frac{(P_i - P_k)}{P_i} \cdot 100; \quad (1.7)$$

$$U = \frac{(P_i - P_k)}{P_k} \cdot 100, \quad (1.8)$$

де P_i та P_k – показники вологоміра в даний момент часу та при досягненні осадом постійної маси відповідно, г.

На рис. 1.5 наведені отримані криві інтенсивності сушіння осадів на станції аерації. Ці криві можна розбити на чотири ділянки: на ділянці аб відбувається підігрівання осаду, інтенсивність сушіння швидко зростає, однак випаровується лише невелика кількість вільної води.

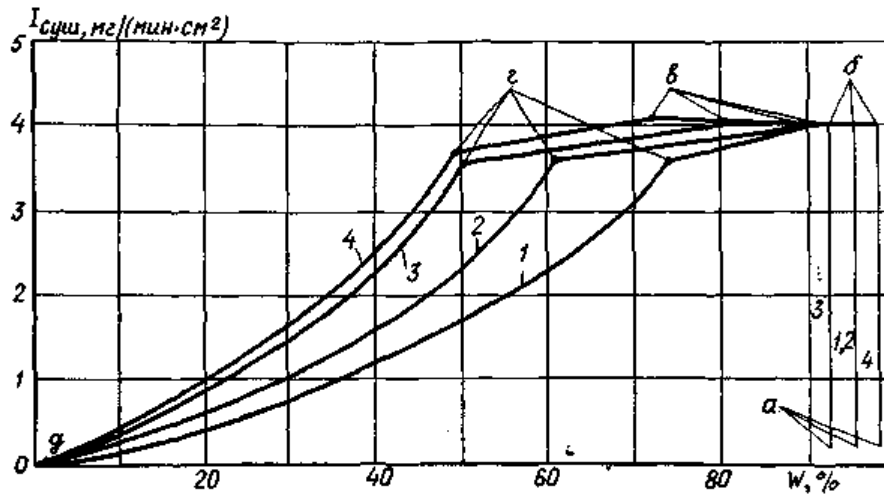


Рис. 1.5 Залежність інтенсивності сушіння $I_{суш}$ осадів стічних вод від їх вологості W : де 1 – для ущільненого мулу ($W_m = 96,7\%$); 2 – для збродженої суміші ($W_m = 97\%$); 3 – для сірого осаду ($W_m = 93\%$); 4 – для циркулюючого активного мулу ($W_m = 99,5\%$); а, б – ділянки прогрівання осаду; в – перші критичні точки вологості; г – другі критичні точки вологості; д – точка закінчення сушіння.

На ділянці бв інтенсивність сушіння залишається постійною, видаляється основна маса вільної води і в кілька разів зменшуються об'єм і маса осаду. На ділянці вг, що характеризує видалення фізико-механічно зв'язаної вологи, спостерігається прямолінійна залежність зниження інтенсивності сушіння осаду від його вологості. Це зниження відбувається внаслідок витрачання частини енергії на подолання сил зв'язку води з твердими частинками. На ділянці гд зниження інтенсивності від вологості осаду набуває криволінійний характер, що обумовлюється зростаючою витратою енергії на подолання сил зв'язку води з твердими частинками.

Для характеристики процесів зневоднення ділянка аб істотного значення не має. Найбільше значення має ділянка бв, протягом якого виділяється основна маса води.

При видаленні з осадів вільної води залежність обсягу осаду V від його концентрації C може бути визначена за відомою формулою:

$$V_2 = V_1 C_1 / C_2 \quad (1.9)$$

За співвідношенням вільної і зв'язаної води можна встановити межу застосовності формули (1.9). Для осадів міських стічних вод в залежності

від їх властивостей формула (1.9) справедлива при зниженні вологості в середньому до 70 – 85%, тобто практично до тих же меж, які характеризують придатність формул (1.2) та (1.5) для визначення питомого опору осадів.

Активний мул на відміну від осадів інших типів змінює свої властивості при ущільненні. Активний мул, як колоїдна система, має високу структуротвірну здатність, внаслідок чого ущільнення призводить до іммобілізації вільної води, тобто із збільшенням концентрації активного мулу частина вільної води переходить в колоїдно-зв'язану. З рис. 1.6 видно, що в ущільненому мулі і зброженому осаді міститься більше важковидальної води, ніж в сирому осаді.

Для збільшення водовіддачі необхідно змінити структуру твердої фази осадів, що досягається коагуляцією їх хімічними реагентами, введенням присадних матеріалів, заморожуванням з подальшим відтаванням, а також термічною обробкою. При здійсненні названих операцій відбувається укрупнення частинок осадів, зменшується площа поверхні розділу дисперсної фази і дисперсійного середовища і, отже, знижується поверхнева енергія зв'язку і послаблюються сили зчеплення води з твердими частинками. Зміна структури осадів призводить до кількісного перерозподілу форм зв'язку вологи в бік збільшення вмісту вільної води внаслідок зменшення загальної кількості зв'язаної води. Така зміна структури осадів дозволяє досягти більш глибокого і швидкого їх зневоднення.

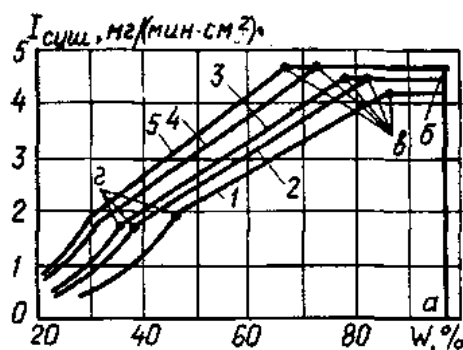


Рис. 1.6 Залежність інтенсивності сушіння $I_{\text{суш.}}$ активного мулу

($W_i = 97,5\%$) від його вологості W :

1 – вихідного; 2 – вихідного + 3,7% FeCl_3 ; 3 – вихідного + 12,5% FeCl_3 ; 4 – після заморожування і відтавання; 5 – після коагулювання дозою 3,7% FeCl_3 і наступним заморожуванням та відтаванням; а, б – ділянка прогрівання осаду; в – перші критичні точки вологості; г – другі критичні точки вологості.

На рис. 1.7 показані криві інтенсивності сушіння активного мулу – вихідного і коагульованого хлорним залізом. З рисунку видно, що коагуляція призводить до зміни форм зв'язку вологи, збільшення вільної

для видалення і зменшенню зв'язаної води, тобто до поліпшення водовіддачі мулу.

Положення критичних точок вологості дозволяє вивчати вплив на водовіддачу осадів різних методів обробки: ущільнення, теплової обробки, заморожування та ін., а також обирати найбільш ефективні реагенти для коагуляції осадів. В якості прикладу на рис. 1.8 показано, який вплив на становище першої критичної точки надає заморожування і відтавання активного мулу. З цього рисунка видно, що заморожуванням можна досягти більш глибокого зневоднення мулу, ніж коагуляцією його хлорним залізом.

У табл. 1.10 наведені результати дослідів по коагуляції ущільненого активного мулу хлорним залізом, сірчаноокислим залізом і сірчаноокислим алюмінієм. З таблиці видно, що найменша вологість, що відповідає першій критичній точці, спостерігається при коагуляції активного мулу хлорним залізом.

Існує певний зв'язок між питомим опором осадів і вологістю, що відповідає першій критичній точці: чим менше питомий опір, тим менше вологість, яка характеризується першою критичною точкою (рис.1.5), тому можна констатувати, що відповідна до першої критичної точки вологість, що характеризує наявність вільної води в осадах, як і питомий опір, визначає їх водовіддачу. Однак між цими двома показниками існує відмінність. Якщо питомий опір характеризує в основному швидкість водовіддачі осадів, то вологість, що відповідає першій критичній точці, визначає межу можливого механічного зневоднення осаду.

Таблиця 1.10 Залежність вологості першої критичної точки від типу коагулянта при обробці ущільненого активного мулу

Коагулянт дозою 18,2% від маси сухої речовини мулу	Питомий опір, $\text{r} \cdot 10^{-10}$, см/г	Вологість W в першій критичній точці, %
FeCl_3	20	86
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	24	88
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	52	90

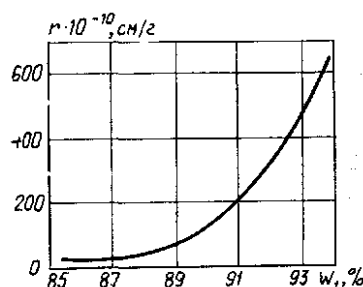


Рис. 1.7 Залежність питомого опору активного мулу, коагульованого FeCl_3 , від його першої критичної вологості W_1

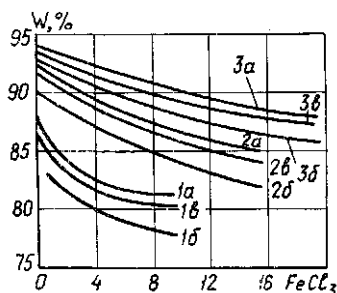


Рис. 1.8 Залежність вологості кека (криві 1а – 3а), його першої критичної вологості (криві 1б – 3б) та вологості, яка відповідає початку порушення прямолінійної залежності (криві 1в – 3в), від дози FeCl_3 , % маси сухої речовини: 1а, 1б, 1в – для сирого осаду ($W_i = 94\%$); 2а, 2б, 2в – для зброженої суміші ($W_i = 97\%$); 3а, 3б, 3в – для активного мулу ($W_i = 96,7\%$).

Вище було показано, що при визначенні питомого опору осадів в кінцевій стадії фільтрування змінюється характер водовіддачі. З дослідів, результати яких наведені на рис. 1.6, видно, що вологість, при якій починаються відхилення від прямої при визначенні питомого опору, практично відповідає вологості кеку, одержуваного при зневодненні осадів. Отже, вологість кеку при зневодненні осадів на вакуум-фільтрах та фільтр-пресах можна орієнтовно визначати в лабораторних умовах. Дані дослідів (див. рис. 1.8) підтверджують також, що сирій осад механічним шляхом зневоднюється краще зброженого, а останній – краще ущільненого активного мулу, і що при коагуляції осадів їх водовіддача поліпшується.

Зі збільшенням розміру частинок зменшується кількість зв'язаної води і відповідно знижується питомий опір осаду.

Великі фракції осаду містять більшу кількість вільної води, ніж дрібні. При безреагентному центрифугуванні з фугату виносяться дрібні фракції осадів, що містять велику кількість зв'язаної води, а затримуються важкі крупнодисперсні частинки. При цьому відзначається більш низька вологість кеку в порівнянні з його вологістю на вакуум-фільтрах. У той же час висока ефективність затримання сухої речовини активного мулу на сепараторах обумовлює підвищену вологість кеку.

Проведені дослідження показали, що криві кінетики сушіння механічно зневоднених і вихідних осадів мають один і той самий характер. На відміну від механічного зневоднення при термічному сушінні найбільше значення мають ділянки вг та га (див. рис. 6), що характеризують видалення з осадів зв'язаної вологи.

Криві швидкості сушіння різних механічно зневоднених осадів так само, як і криві швидкості сушіння вихідних осадів, відрізняються лише положеннями критичних точок вологості (табл. 1.11). Це дозволяє уявити процес сушіння в узагальненому вигляді.

Таблиця 1.11 Критичний вологовміст на кривих швидкості сушіння механічно обезводнених осадів стічних вод

Тип осаду	Спосіб обезводнення	Початковий вологовміст, %	Вологовміст, %, у критичних точках		
			1-а	2-а	3-я
Сирий:					
м. Октябрськ	Вакуум-фільтрація	375	135	105	50
станції аерації в м. Орехово-Зуєве	Центрифугування	300	110	60	40
Суміш, зброджена в термофільних умовах на станції аерації:					
Курьянівській	Вакуум-фільтрація	430	300	220	140
Люблінській		375	230	159	75
Суміш осаду первинних відстійників та активного мулу	Центрифугування	255	160	130	55
Активний мул	Сепарування	775	490	350	125

Характер кривих кінетики сушіння осадів міських стічних вод свідчить про те, що вони є колоїдними капілярно-пористими матеріалами, для випаровування зв'язаної вологи яких потрібно витратити значно більше енергії, ніж для видалення вільної вологи. Теплота випаровування зв'язаних рідин може перевищувати теплоту випаровування вільних рідин в 2–3 рази. Криві кінетики сушіння дозволяють вибирати найбільш ефективний метод та режим для механічно зневоднених осадів.

1.6 Теплофізичні характеристики осадів

Для правильної організації процесів термічної обробки осаду (дегельмінтизації, термічного сушіння і спалювання) необхідно знати його теплофізичні характеристики: теплопровідність λ , температуропровідність α й питому теплоємність c , а також дані про теплоту згоряння осадів.

На підставі отриманих даних можна розрахувати наступні величини: температуропровідність осадів α , $\text{м}^2/\text{с}$,

$$\alpha = R^2/4Z^2\tau_{2(3)}; \quad (1.10)$$

теплопровідність λ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$,

$$\lambda = b_e \varepsilon \sqrt{\alpha}, \quad (1.11)$$

де R – товщина шару осаду в кюветі, м ; $\tau_{2(3)}$ – покази секундоміра, с ; b_e – стала приладу, що становить для різних еталонів 596, 580, 606 $\text{Вт}\cdot\text{с}^{0.5}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; Z та ε – безрозмірні коефіцієнти, що визначаються за графіками.

Питому теплоємність осаду c , $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, визначається за формулою:

$$C = \lambda/\alpha\rho, \quad (1.12)$$

де ρ – густина осаду, кг/м^3 .

В таблиці 1.12 наведені теплофізичні характеристики різноманітних типів осадів міських стічних вод.

Таблиця 1.12 Теплофізичні характеристики осадів

Станція аерації, тип осаду	Вологість, %	$\alpha \cdot 10^8$, $\text{м}^2/\text{с}$	λ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	C , $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$		
				за експериментальними даними	за формулами	
					(13)	(14)
Люблінська, сирий з первинних відстійників, зневоднений:						
на вакуум-фільтрі	81	11,05	0,4	3,06	2,93	2,93
на центрифuzі	72	9,61	0,18	2,38	2,38	2,59
Той самий, висушений	33,3	21,55	0,15	1,72	1,62	1,88
Люблінська, активний мул зневоднений:						
на вакуум-фільтрі	85,2	10,9	0,34	2,97	3,01	3,1
те саме із добавкою тирси	78	11,35	0,43	3,01	2,89	2,8
на центрифuzі	51	11,6	0,26	2,22	2,09	2,09
Люблінська, мезофільно зброджена суміш	97,6	-	0,49	3,81	3,85	3,68
Люблінська, зневоднений:						
на вакуум-фільтрі	80,6	10,92	0,3	2,8	2,9	2,89
на центрифuzі	65,1	8,48	0,16	2,26	2,22	2,38
м. Орехово-Зуєво, сирий, зневоднений на центрифuzі	72	11,2	0,21	2,38	2,38	2,59
Той самий, але висушений	42,1	14,45	0,17	1,8	1,76	1,95
м. Октябрськ, сирий, зневоднений на вакуум-фільтрі та сушарці	60	16,5	0,24	2,18	2,14	2,26
м. Климовськ, зброджений з двоярусних відстійників, зневоднений на центрифuzі	70,5	12,1	0,35	2,38	2,34	2,51
Люберецька, термофільно зброджена суміш, зневоднена на вакуум-фільтрах	81	14,3	0,48	2,97	2,93	2,93
Та сама, але висушена	59,5	18,5	0,29	2,18	2,18	2,26
	45,4	18,25	0,23	1,97	1,92	2,01
	15,6	10,35	0,08	1,63	1,42	1,8
	10,5	6,7	0,05	1,59	1,3	1,8

Обробка експериментальних даних показує, що питома теплоємність c залежить в основному від типу і вологості осадів. Для її визначення можна користуватися формулою, аналогічною до формули, що, як правило, застосовується при розрахунку сушарок, тобто:

$$c = c_a \frac{W}{100} + c_c \frac{100-W}{100}, \quad (1.13)$$

де c_b та c_c – питомі теплоємності зв'язаної води і сухої речовини осаду, Дж/(кг·К); W – вологість осаду, %.

При цьому для сирих осадів первинних відстійників, осадів, зброджених в мезофільних умовах, і осадів з двоярусних відстійників $c_c = 920$ Дж/(кг·К), для осадів, зброджених в термофільних умовах, $c_c = 1130$ Дж/(кг·К), для активного мулу $c_c = 1255$ Дж/(кг·К). Значення c_b для осадів цих видів становлять 2930; 3350 і 3975 Дж/(кг·К) при їх вологості відповідно 15 – 75; 80 – 90 і 95 – 98%.

Для орієнтовних розрахунків може бути використана формула:

$$C = 1800 + 2,1 \cdot W^3 \cdot 10^{-3}, \quad (1.14)$$

де 1800 – середня питома теплоємність осаду, висушеного до вологості 5 – 10 %, Дж/(кг·К).

Як видно з табл. 1.7, значення питомої теплоємності осадів, розраховані за формулою (1.13), краще збігаються з експериментальними даними, ніж розраховані за формулою (1.14).

У табл. 1.13 наведені результати визначень елементарного складу і теплоти згорання осадів, приведені до гарячої маси і маси сухої речовини осаду. Теплота згорання сухої речовини осадів в середньому складає 16,7 – 18,4 МДж/кг, а найвища теплота згорання горючої маси – 24,3 – 26,4 МДж/кг. На рис. 1.9 показана залежність виходу летких V_0^c , вмісту водню H^c і вуглецю C^c , % маси сухої речовини осаду, і теплоти згорання в калориметричній бомбі Q_6^c від зольності осадів A_c , %. Зольність осадів впливає на горючі властивості. Звідси випливає, що спалюванню краще піддавати сирі незброжені осади.

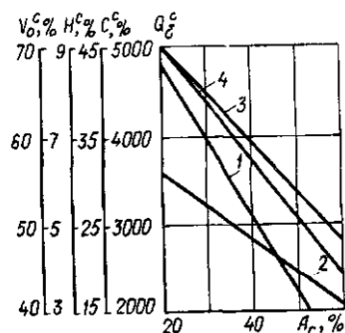


Рис. 1.9. Залежність виходу летких сполук, сполук водню, вуглецю та теплоти згорання від зольності осадів A_c : 1 – для V_0^c ; 2 – для H^c ; 3 – для C^c ; 4 – для Q_6^c .

Таблиця 1.13 Результати аналізу горючих властивостей осадів міських станцій аерації

Станція аерації, тип осаду	Зольність, %	Горюча маса, %			
		S	C	H	N
Люблінська: сирий з					
первинних відстійників	24,1-29,6	1,1-1,2	60,5-61,7	8,3-8,5	5,2-5,3
активний мул	24,9-30,9	0,9-1,6	55,2-57,4	7,3-8	8-9,8
зброджена суміш	24,6-33,1	1,4	57,4-60,7	7,6-8,5	6,2-7,8
Люберецька: сирий з					
первинних відстійників	24,3	0,5	59,7	8,4	5
активний мул	27,4-36,8	0,99-1,2	54,6-55,2	7,6-7,8	5,3-8,1
зброджена суміш	36,7	1,5	55,1	7,3	5,5
Кур'янівська: сирий з					
первинних відстійників	51	1,7	56	6,7	5
активний мул	28,7	0,9	54,8	7,8	8,9
зброджена суміш	28,9-42,4	1,2-1,8	56,1-58,8	7,7-8,2	5,5-5,6
Тушинська: сирий з					
первинних відстійників	21,9	0,7	57,5	7,6	4,7
м. Орехово-Зуєво: сирий з					
первинних відстійників	28,8	1,1	60,4	8,3	6,2
Бортницька: сирий з					
первинних відстійників	36,4-36,2	1,1-1,2	58-59	8-8,7	4,2-6,9
активний мул	28,3-32,1	1,1-1,5	52,9-54,1	7,4-8,2	8,7-9,5
Станція аерації, тип осаду	Горюча маса, %	Теплота згорання, МДж/кг			Вихід легких V_0^c , %
	O	горючої маси		сухої маси	
		Q_B	Q_H		
Люблінська: сирий з					
первинних відстійників	23,6-24,7	26,7-27,9	24,8-26,1	19,7-20,6	84,9-85,7
активний мул	23,9-27,6	24,4-25,5	22,7-23,7	17,9-18,5	84,8-89,4
зброджена суміш	23,2-25,8	25,2-27,9	23,4-26	16,8-22	83-86,1
Люберецька: сирий з					
первинних відстійників	26,4	26,8	24,9	20,3	87
активний мул	28,6-30,7	24,2-24,5	22,5-22,8	15,2-17,8	81,5-85
зброджена суміш	30,6	24,3	22,6	15,4	82,3
Кур'янівська: сирий з					
первинних відстійників	30,6	20,9	19,3	-	95
активний мул	27,6	24,6	22,9	17,6	85,4
зброджена суміш	26,3-28,8	24,3-26,6	22,5-24,7	14-18,9	83,9-86,2
Тушинська: сирий з					
первинних відстійників	29,5	25	23,3	19,6	84,7
м. Орехово-Зуєво: сирий з					
первинних відстійників	24	27,1	25,2	19,3	88,1
Бортницька: сирий з					
первинних відстійників	25,9-27	25,9-26,5	24-24,5	16,5-17,3	87-88,3
активний мул	27,1-29,5	23,1-24,2	21,4-22,3	15,6-17,4	85,1-87,2

Ще більший вплив на теплоту згорання чинить вологість осадів (рис. 1.10). При оцінці осадів в якості палива волога є баластною складовою, що зменшує тепловиділення внаслідок зниження процентного вмісту горючих елементів і витрат тепла на випаровування і перегрів води. Розрахунки показують, що процес спалювання осадів може бути автотермічним при їх вологості 50 – 67% в залежності від складу і способу спалювання. Цій вологості відповідає теплота згорання $Q_p^H = 3,76 \div 7,53$ МДж/кг. Тому найбільш доцільно метод спалювання застосовувати для механічно зневоднених і термічно висушених осадів.

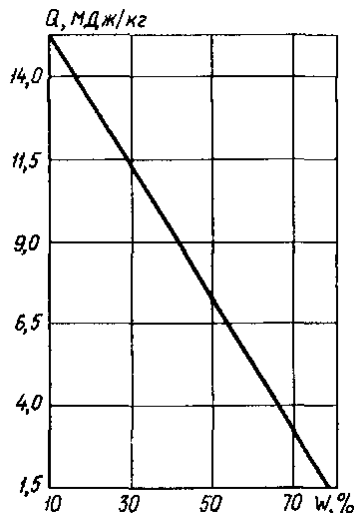


Рис. 1.10 Залежність теплоти згорання робочої маси Q осадів стічних вод середнього складу від їх вологості W

За складом горючої маси і теплою згорання осади міських стічних вод подібні торфу.

Велику загрозу для навколишнього середовища і людей представляють концентровані відходи, які можуть містити токсичні і шкідливі речовини у десятки й сотні раз більше, ніж стічні води.

Проблема утилізації осадів стічних вод (ОСВ) повинна вирішуватися комплексно з питаннями очищення стічних вод, без чого водоохоронні заходи не можуть бути ефективними. З іншого боку, оптимальне використання корисних речовин, що втримуються в осадах, їх обробка, приведуть до повернення сировинних і інших корисних матеріалів.

Вирішення проблеми осадів стічних вод, ефективної їх утилізації, повинно відбуватись із дотриманням екологічних вимог.

1.7 Мулоущільнювачі

Ущільнення – найбільш простий і поширений спосіб зменшення обсягу осадів, що забезпечує підвищення продуктивності подальших споруд з обробки осадів. Вологість осадів після ущільнення повинна забезпечувати їх вільне транспортування по трубах. На ущільнення

надходять осади з первинних відстійників, надлишковий активний мул, суміш осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу, піна після флотаційної очистки, осади і мули після стабілізації.

Мули ущільнюються в гравітаційних ущільнювачах (відстійниках радіального і вертикального типів), а також у флотатор. Гравітаційні мулоущільнювачі можуть працювати з попередньою коагуляцією осаду або без неї. Основні дані для проектування мулоущільнювачів наведено в табл. 1.14. Типові радіальні мулоущільнювачі мають діаметр 18, 24 і 30 м.

Таблиця 1.14. Параметри гравітаційних мулоущільнювачів

Характер мулу	Вологість мулу, %		Тривалість, год		Швидкість рідини у вертикальному ущільненні, мм/с
	Тип ущільнювача				
	Вертика-ий	Радіа-ний	Вертика-ий	Радіа-ний	
Мулова суміш з аеротенків з концентрацією 1,5-3 г/л	–	97,3	–	5...8	–
Активний мул із вторинних відстійників з концентрацією 4 г/л	98	97,3	10...12	9...11	≤0,1
Активний мул із зони відстоювання аеротенків-відстійників при концентрації 4,5 ... 6,5 г/л	93	97	16	12...15	≤0,1
Суміш осаду первинних відстійників і активного мулу	93...95	93...95	7...10	7...10	<0,3

Радіальні ущільнювачі обладнують мулошкребами зі стрижневими ґратами для перемішування осаду (рис. 1.11). Відстань між стрижнями 0,3 м, частота обертання мулошкреба 2–4 год⁻¹. Число мулоущільнювачів повинно бути не менше двох. Зливна вода з ущільнювачів направляється в аеротенки [5].

При спільному ущільненні осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу останній спочатку направляється в преаератор, де аерується з надходить стічної водою протягом 5 ... 20 хв, а потім освітлюється в первинному відстійнику і звідти суміш осадів подають на ущільнення з наступним механічним зневодненням.

Флотаційні мулоущільнювачі працюють за принципом напірної флотації. Диспергування повітря в мулової середовищі здійснюється двома способами: безпосереднім насиченням повітрям обсягу мулу і шляхом насичення повітрям рециркулюють частини освітленої води з

вторинних відстійників. Конструкція флотаційного мулоушільнювача дано на рис. 12.3. Діаметр круглих флотаторів вибирається з наступного типу розмірного ряду: 6, 9, 12, 15, 18 і 24. Гідравлічне навантаження на дзеркало води ушільнювача $q_{и}$, $м^3/м^2 \cdot ч$, приймають в залежності від безрозмірного критерію $JС_{и}$, де J - валовий індекс, $см^3/г$ $С_{и}$ - істинна концентрація мулової суміші, подається у флотатор:

$JС_{и}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$q_{и}$	12	10	9	8	7,5	6,7

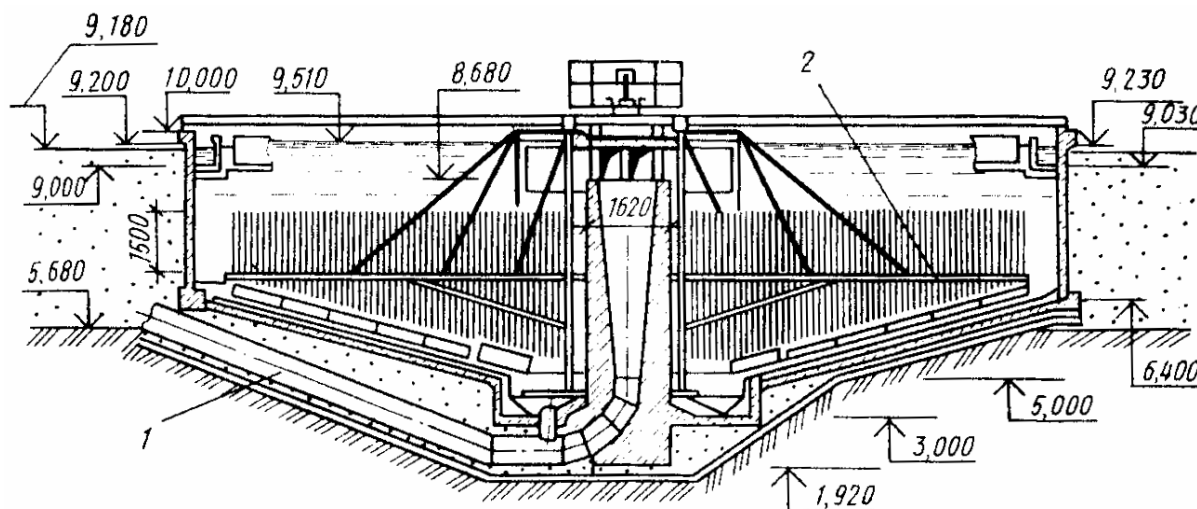


Рис.1.11. Радіальний мулоушільнювач зі стержневою мішалкою:
1 - підводний мулопровід, 2 - мулошкреб з вертикальною решіткою

Тривалість перебування мулу в зоні ущільнення $T_y = 2-3$ год, в зоні освітлення $T_o = 0,2-0,33$ год. Час насичення рідини повітрям в напірному баку 2 ... 4 хв, тиск в напірному баку 0,3 ... 0,4 МПа, питома витрата розчиненого повітря 5 л/кг твердої речовини мулу. Необхідний вміст повітря в муловій суміші W_p , $м^2/м^3$, ($> 0,33$); в схемі з рецикуляцією:

$$W_p = hB_p V_n (10f_{hp} - 1) / C_o, \quad (1.15)$$

при безпосередньому насиченні мулу повітрям

$$W_p = hB_p (10f_{hp} - 1) / C_o, \quad (1.16)$$

де h - робоча глибина флотатора, м; B_p - кількість розчиненого повітря, що вивільнився при зниженні тиску з 1 л рідини, $см^3$; V_n - об'єм рециркуляційного потоку, насиченого повітрям, $м^3$; V - об'єм мулу, $м^3$; f_{hp} - ступінь насиченого повітрям залежно від тиску і температури, частки

одиниць (ср.0,6); p – тиск повітря, МПа; C_0 – початкова концентрація активного мулу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Концентрація завислих речовин в мутній воді 200...300 мг/л. Кінцева вологість ущільненого мулу 94,5...95%.

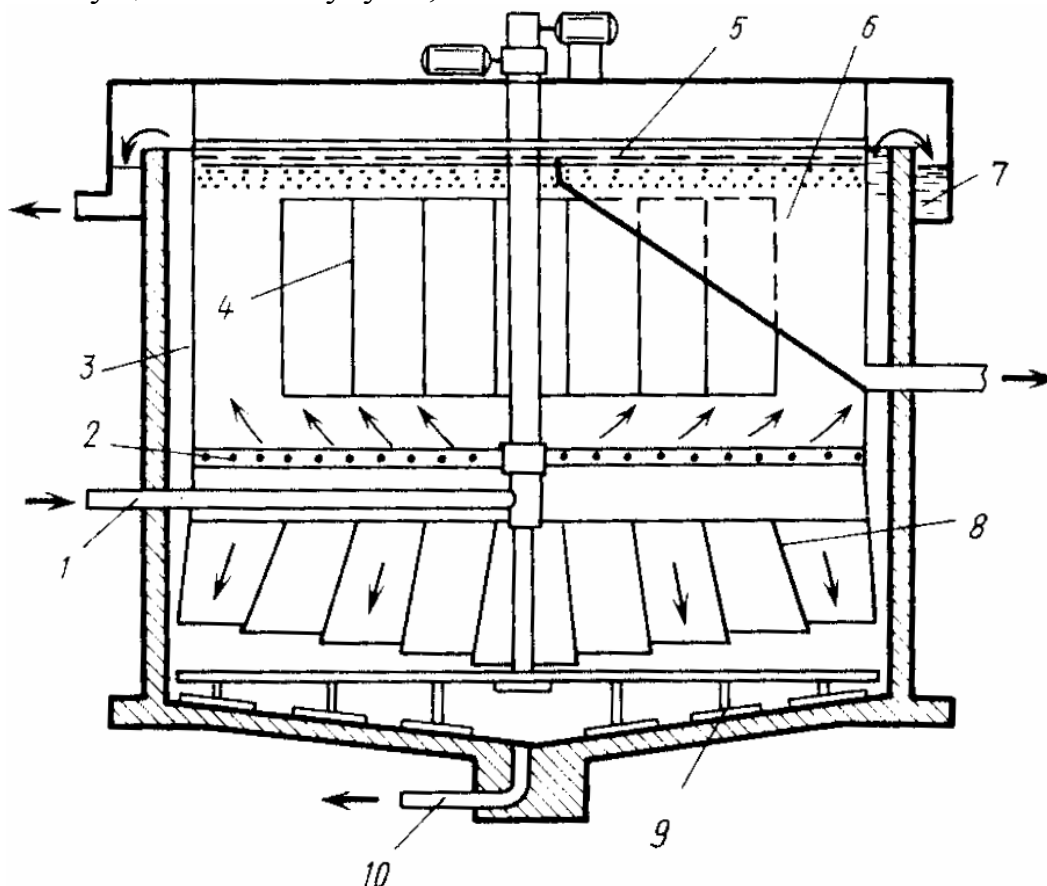


Рисунок 1.12. Флотаційний мулоущільнювач: 1- подача мулоповітряної суміші, 2- обертовий дірчастий розподільник, 3- периферійні перегородки, 4- циліндричні перегородки, 5- мулошкреб, 6- конічні перегородки, 7 - кільчастий водозлив, 8 - конічні перегородки, 9 - скребковий пристрій 10- відвід мулу та спорожнення ущільнювача.

1.8 Основні напрямки утилізації осадів

Методи обробки осадів та їх взаємозв'язок наведено на рис. 1.13 (С. В. - суха речовина, Б. В. – частка беззольної речовини в складі сухої речовини).

Утилізація осадів стічних вод можна здійснювати по семи напрямкам (рис. 1.14).

1. Добрива. Передбачаються всі випадки використання осадів в якості добрив при відповідності їх складу технічним умовам. Вони можуть використовуватися в рідкому вигляді без обробки або з мінімальною обробкою – ущільненням. Рідкі текучі осадки вологістю 99,7-90% найчастіше перекачуються по трубах безпосередньо на поля через

розподільне обладнання або через накопичувачі, розташовані в центрі ділянок, що вдобрюються.

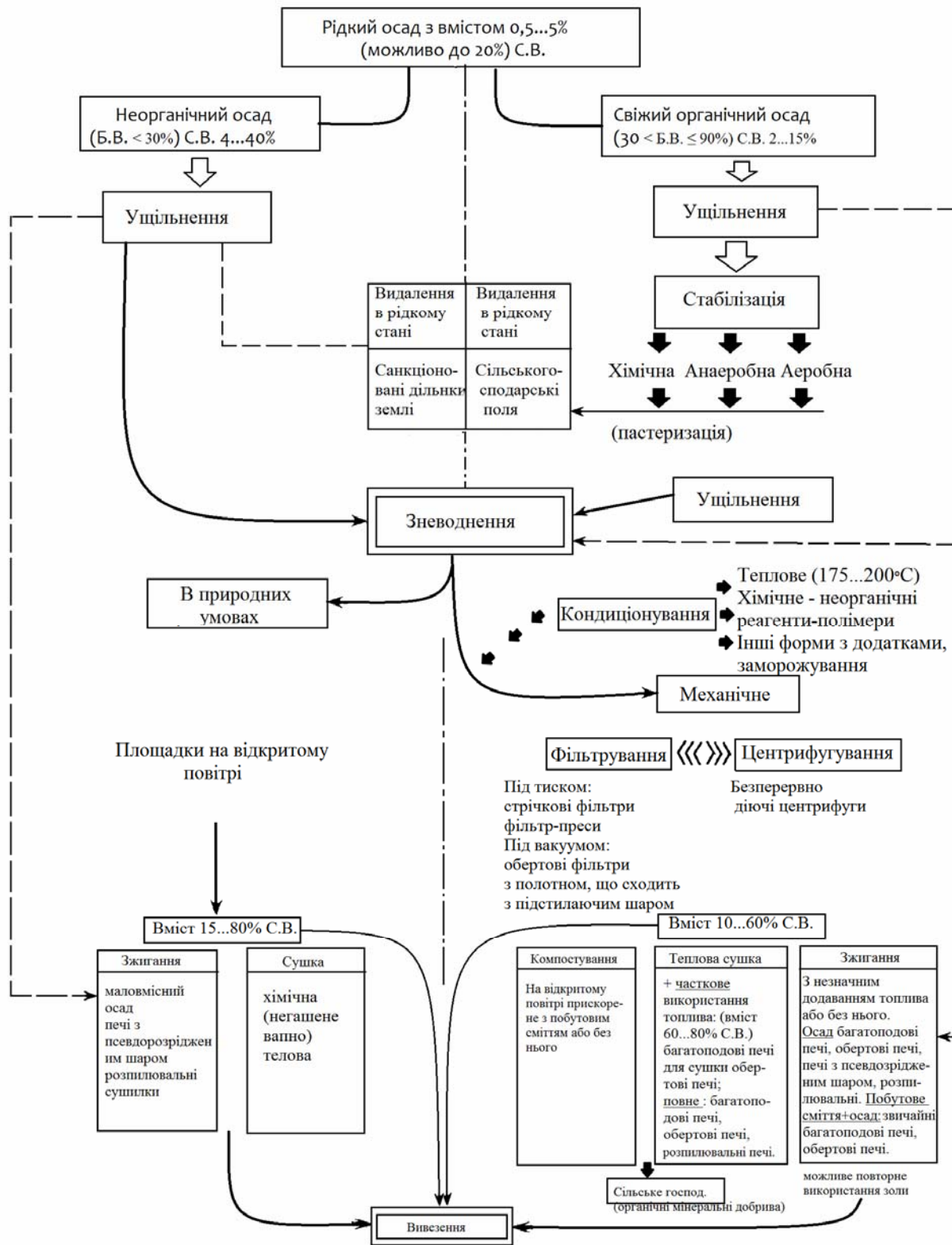


Рис. 1.13 Методи обробки осадів

Осади, підсушені на мулових площадках або механічно зневоднені до вологості 80-60%, а також термічно висушені до вологості 40-5%, транспортуються на поля, сади, парки всіма видами транспорту. Осади можуть застосовуватися для поліпшення структури і родючості торф'яних і піщаних ґрунтів, а також для рекультивації земель. У деяких випадках з осадів або з мулової води після метантенків можна отримувати азотне добриво.

2. Корми. Активний мул (білвітамул) є цінним білково-вітамінним кормовим продуктом. За умови відповідності складу активного мулу технічним вимогам, він має високі поживні якості при годівлі тварин, птахів, хутрових звірів. Крім того, з активного мулу можна одержати білок, технічний вітамін В₁₂, найважливіші амінокислоти.

Даний кормовий продукт одержують із відходів стічних вод цукробурякових заводів, а з відходів стоків харчової промисловості можна отримати високоцінне м'ясокісне і рибне борошно.

3. Вторинна сировина. Осади стічних вод промислових підприємств можуть використовуватися в якості сировини для власного виробництва або для інших підприємств. Так, наприклад, в целюлозно-паперової промисловості активний мул використовується для виробництва картону, мішечного паперу, целюлози. У хімічній промисловості стічні води, які містять синтетичні смоли, використовуються для виробництва пластмасових виробів. На базі шламових відходів підприємств віскозних волокон можна регенерувати цинк, який доцільно використовувати в інших галузях промисловості.

4. Товарні продукти. Осади стічних вод, які містять великий відсоток органічних речовин, можна використовувати для одержання пірокарбона, смоли, гасу, бензину, воску та інших продуктів. На базі осадів стічних вод або в суміші з іншими відходами (наприклад, побутовими) можна одержати і ефективно використовувати сиру нафту.

З активного мулу методом піролізу можна отримати активоване вугілля для використання його як сорбенту або в якості напівпродукту для лікувальних цілей.

5. Товарні продукти (жири і мила). На основі жиромісних відходів стічних вод підприємств м'ясної, масложирової, молочної, рибної промисловості отримують жирові речовини, що доцільно використовувати для одержання консистентних мастил. З неочищеного жиру на фабриках первинної обробки вовни, готують антикорозійний засіб, що використовується при зберіганні і транспортуванні машинних виробів. З очищеного шерстного жиру одержують ланолін, який широко застосовується в косметичній і фармацевтичній промисловості.

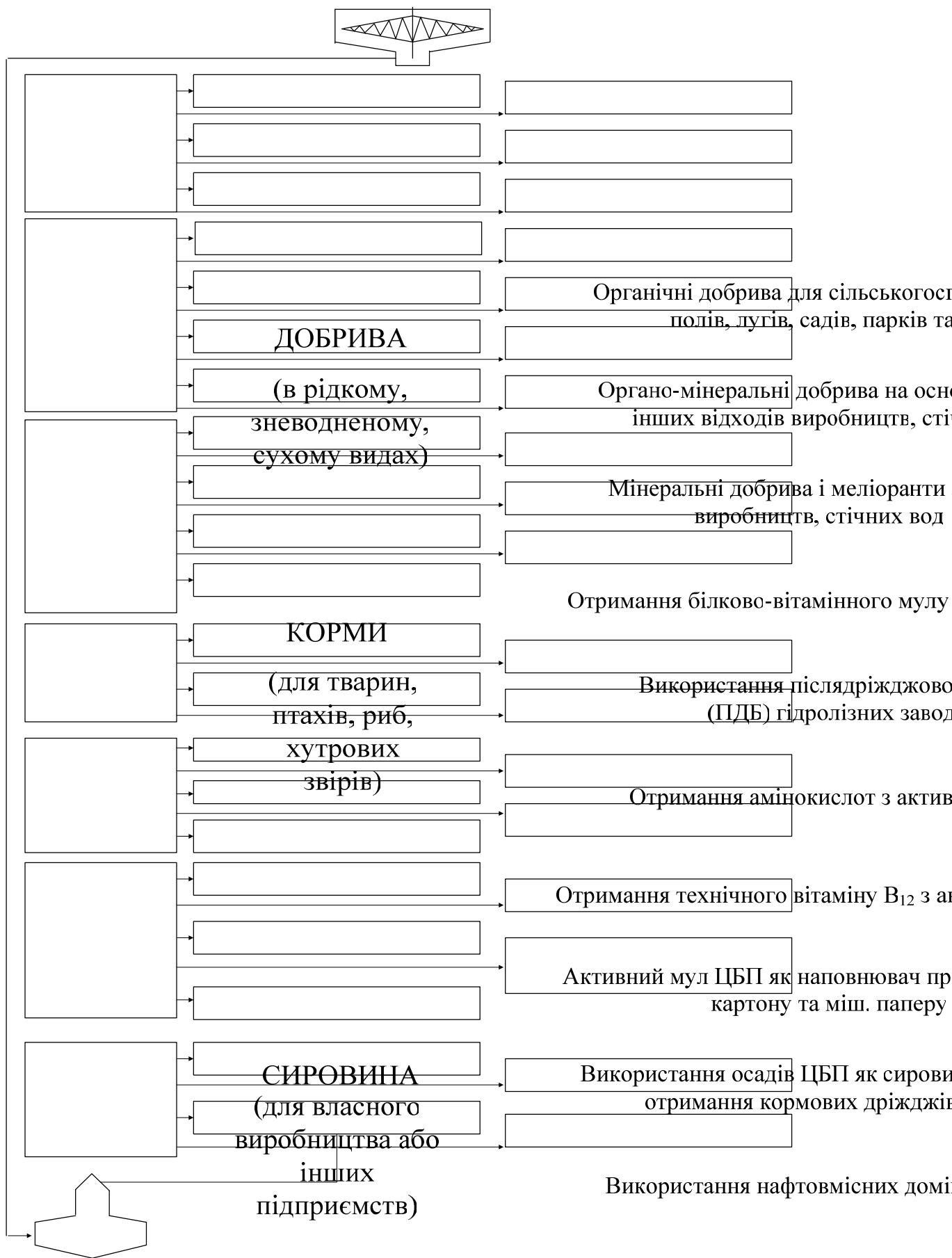


Рис. 1.14 Можливі напрямки утилізації осадів стічних вод. Виділення солей важких і рідких металів

ТОВАРНІ
ПРОДУКТИ

Отримання пірокарбону, смоли бензолу, керосину, воску та інших продуктів

6. Матеріали для будівельної промисловості. Багато промислових підприємств відходи стічних вод можуть утилізувати для одержання будівельних матеріалів. На заводах кольорової металургії зі шламів можна одержати в'язкі речовини для виробництва магнезійного цементу, ксилоліту, фіброліту, штучного мармуру та інших матеріалів.

Осади стічних вод содового виробництва можна використовувати для одержання автоклавних бетонів, а шламові відходи – у вигляді піритних недогарків. На підприємствах, що виробляють сірчану кислоту, шлами можна використовувати також для виробництва цементу і азбестоцементних труб.

Волокновмісні осади можна використовувати у виробництві волокнистих, деревоволокнистих і деревостружкових плит. Ці ж осади можна використовувати при виробництві сухої штукатурки, цегли, легких бетонних плит, теплоізоляційних матеріалів.

7. Енергетика і товари. Газ метантенків (біогаз) використовується для одержання теплової, механічної і електричної енергії.

Висококалорійний газ метан можна використовувати для автотранспорту як замітник бензину. При цьому здійснюється очищення газу від вуглекислоти; остання може застосовуватися при виробництві сухого льоду.

На основі хімічної обробки газу можна одержати такі хімічні товари, як чотирьоххлористий вуглець, розчинники, пластмаси, етиловий спирт, газ для зварювання, та багато інших товарів.

Контрольні запитання

1. Дати характеристику складу і властивостей осадів стічних вод.
2. Приведіть класифікацію гранулометричного складу осадів.
3. Дати характеристику хімічного складу осадів стічних вод.
4. Пояснити форми зв'язку води з частинками твердої фази та їх вплив на обробку осадів.
5. Дати характеристику питомому опору осадів фільтрації.
6. Дати характеристику теплофізичних властивостей осадів.
7. Дайте характеристику роботи мулоущільнювачів.
8. Проаналізуйте основні напрямки утилізації осадів стічних вод.

Розділ 2. УЩІЛЬНЕННЯ І ЗГУЩЕННЯ ОСАДІВ

2.1. Ущільнення активного мулу і осаду первинних відстійників

Гравітаційне ущільнення – найбільш поширений метод зменшення об'єму надлишкового активного мулу. Воно значно зменшує об'єми споруд і витрати електроенергії, необхідні для подальшої його обробки.

В останні роки розроблені модернізовані конструкції ущільнювачів мулу. Для скорочення об'єму ущільнювачів і тривалості ущільнення застосовують модулі з тонкошаровим осадженням. Крім того, запропоновано методи ущільнення з повільним перемішуванням, прогріванням, добавкою хімічних реагентів, розбавленням активного мулу очищеною стічної рідиною, а також метод спільного ущільнення мулу з осадом первинних відстійників та ін.

Вище зазначалося, що ущільнення активного мулу призводить до різкого зростання його питомого опору. Причиною цього є збільшення кількості зв'язаної води при підвищенні концентрації активного мулу. Однак, як зброджування, так і зневоднення неущільненого активного мулу нерационально, так як він має великий об'єм і низьку початкову концентрацію. Для встановлення оптимальної концентрації активних мулів при підготовці їх до механічного зневоднення були проведені дослідження із мулами, ущільненими у вертикальних і радіальних мулоущільнювачах. На рис. 2.1 наведені криві зміни питомого пору мулу при його ущільненні у вертикальних та радіальних мулоущільнювачах.

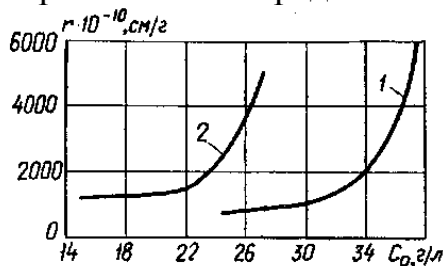


Рис. 2.1 Залежність питомого опору r активного мулу при ущільненні від його концентрації C_0 : 1, 2 – для активного мулу відповідно з радіальних та вертикальних мулоущільнювачів.

Найбільш різко питомий опір зростає при концентрації активного мулу більше 20 – 24 г/л, якщо ущільнення проводиться в мулоущільнювачах вертикального типу, і при концентрації 30 – 35 г/л, якщо ущільнення проводять в мулоущільнювачах радіального типу, обладнаних мулошкребками.

Концентрація мулу 20 – 24 г/л у вертикальних мулоущільнювачах досягається протягом 15 – 17 год. При цьому збільшення тривалості ущільнення викликає загнивання активного мулу, що призводить до ще

більшого зростання питомого опору. У той же час концентрація мулу 30 – 35 г/л в радіальних мулоущільнювачах досягається протягом 10 – 12 год.

Зіставлення роботи мулоущільнювачів, обладнаних мулошкребками і мулосмоками, показало, що при ущільненні протягом 10 – 12 год концентрація активного мулу підвищується в перших до 29 – 31 г/л, а у других до 24 – 27 г/л. При цьому в останньому випадку питомий опір ущільненого активного мулу було в 1,3 – 1,8 рази вище, ніж при ущільненні того ж мулу в мулоущільнювачах, обладнаних мулошкребками. Краще ущільнення активного мулу в мулоущільнювачах радіального типу, обладнаних мулошкребками, пояснюється перемішуванням активного мулу в процесі ущільнення, а також меншою висотою радіальних мулоущільнювачів в порівнянні з вертикальними. При перемішуванні знижуються в'язкість активного мулу і його електрокінетичний потенціал, що сприяє кращому утворенню пластівців і осадженню мулу. Тому за кордоном часто застосовуються ущільнювачі, обладнані обертовими стрижневими мішалками.

При зневодненні на вакуум-фільтрах несоагульованого активного мулу кек, що утворюється, має настільки високу вологість, що не відділяється від поверхні фільтрувальної тканини. Коагуляція активного мулу хімічними реагентами призводить до перерозподілу форм зв'язку води з твердими частинками. При цьому частина зв'язаної води переходить у вільну, що викликає зниження питомого опору мулу і, отже, підвищення продуктивності вакуум-фільтрів.

На рис. 2.2 показана залежність продуктивності вакуум-фільтрів від концентрації активного мулу, скоагульованого хлорним залізом і вапном. Оптимальною концентрацією активного мулу, що дозволяє отримувати максимальну продуктивність вакуум-фільтрів, є його концентрація 22 – 25 г/л з вертикальних ущільнювачів і 30 – 34 г/л з радіальних [2-5, 15-19].

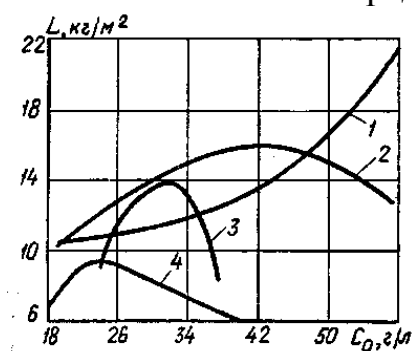


Рис. 2.2 Залежність продуктивності L , $кг/м^2$ в розрахунку на суху речовину мулу, вакуум-фільтра від концентрації активного мулу C_0 : 1 – для активного мулу ОЗСК + 5% $FeCl_3$; 2 – те саме, станції аерації КЗСК + 5% $FeCl_3$ + 12% CaO ; 3 – те саме, Люберецької станції аерації + 8% $FeCl_3$ + 20% CaO (радіальні ущільнювачі); 4 – те саме, + 8% $FeCl_3$ + 20% CaO (вертикальні ущільнювачі).

Ущільнення активного мулу і суміші його з осадом первинних відстійників при додаванні флокулянта ОКФ дозою $10 - 25 \text{ г/м}^3$ в залежності від концентрації дозволяє скоротити тривалість ущільнення в $3 - 5$ разів і підвищити концентрацію ущільненої суміші.

На вибір оптимального ступеня ущільнення активного мулу впливає не тільки тип ущільнювача, але і склад активного мулу, який залежить від складу стічних вод, ступеня очищення, умов підготовки мулу і т. п. Так, активний мул при неповній біологічній очистці ущільнюється значно краще і швидше, ніж при повній біологічній очистці. Мулова суміш з аеротенків ущільнюється швидше, ніж активний мул з вторинних відстійників. Зниження вмісту органічних речовин у твердій фазі активного мулу призводить до поліпшення його ущільнення. Цьому сприяє також збільшення щільності активного мулу. Спільне очищення побутових і виробничих стічних вод може суттєво змінити склад і властивості активного мулу і, отже, здатність його до ущільнення.

На рис. 2.2 представлені криві залежності продуктивності вакуум-фільтрів від концентрації активного мулу станцій аерації Омського заводу синтетичного каучуку (ОЗСК), скоагульованого хлорним залізом, і Куйбишевського заводу синтетичного каучуку (КЗСК), скоагульованого хлорним залізом і вапном. При ущільненні активного мулу з концентрацією від 20 до 56 г/л питомий опір активного мулу станції аерації ОЗСК, яка очищає виробничі стічні води, підвищувався з $55 \cdot 10^{10}$ до $90 \cdot 10^{10} \text{ см/г}$, у той час як питомий опір активного мулу станції аерації КЗСК, яка очищає стічні води заводу та м. Тольяті, підвищувався зі $160 \cdot 10^{10}$ до $370 \cdot 10^{10} \text{ см/г}$. Збільшення концентрації активного мулу ОЗСК призводить до підвищення продуктивності вакуум-фільтрів. У той же час при зневодненні активного мулу КЗСК спостерігалася оптимальна продуктивність вакуум-фільтрів при його концентрації $40 - 45 \text{ г/л}$. Активний мул ОЗСК зольністю 40% ущільнювався до концентрації $50 - 56 \text{ г/л}$ протягом $3 - 4$ год, а активний мул КЗСК зольністю 22% – до концентрації $40 - 45 \text{ г/л}$ за такий же час.

Флотаційне ущільнення активного мулу дозволяє запобігти загниванню активного мулу, скоротити тривалість ущільнення і об'єми споруд. Найбільший ефект досягається при застосуванні напірної флотації з використанням робочої рідини. Робоча рідина насичується повітрям в напірному баку під тиском $0,3 - 0,8 \text{ МПа}$ протягом $2 - 6$ хв з одночасним перемішуванням циркуляційним насосом або без нього.

Флотатори для ущільнення надлишкового активного мулу зазвичай є резервуарами круглої форми діаметром до 12 м і глибиною $2 - 3 \text{ м}$. Всередині резервуара у верхній частині влаштовується концентрична перегородка, що не дістає до дна, що розділяє його на флотаційну (робочу) і відстійну зону. Замість перегородки можна встановлювати циліндричну або прямокутну камеру. Надмірно активний мул подається зверху, а

робоча рідина – знизу, назустріч один одному по перфорованих радіальних трубах. Тривалість перебування суміші робочої рідини і активного мулу в робочій зоні (камері) становить 40 – 60 хв. Насичений бульбашками повітря активний мул спливає і віддаляється в жолоб спіральним скребком. Нижня частина флотатора (зона осадження) може використовуватися для осадження крупних частинок і частинок, що мають щільність більше 1,0. Частина осілого надлишкового мулу видаляється під гідростатичним тиском. При питомій витраті повітря 10 – 15 л/кг сухої речовини активного мулу концентрація ущільненого активного мулу досягає 30 – 50 кг/м³ при вмісті завислих речовин у рідині 30 – 60 мг/л.

Розроблені конструкції флотаторів діаметрами 6; 9 і 20 м. Навантаження на них за сухою речовиною активного мулу складає 3 – 5 кг/м² за 1 год, питома витрата повітря складає 0,01 – 0,02 кг/кг мулу, витрата електроенергії 0,02 – 0,03 кВт·год/кг сухої речовини мулу. Концентрація ущільненого мулу складає 4 – 5%.

Запропоновано спосіб очистки стічної рідини і обробки активного мулу, який полягає в тому, що активний мул піддають флотації і подальшому центрифугуванню, а утворений фугат використовують для очищення стічної рідини (70 – 80%) і в якості робочої рідини для флотації (20 – 30%). Запропонований спосіб випробований на станції аерації Хоста-Кудепста (м. Сочі). На рис. 2.3 наведена схема флотатора, використаного на цій станції аерації. Поряд з ущільненням активного мулу флотатор випробовувався для ущільнення фугату, що утворюється при центрифугуванні осаду первинних відстійників.

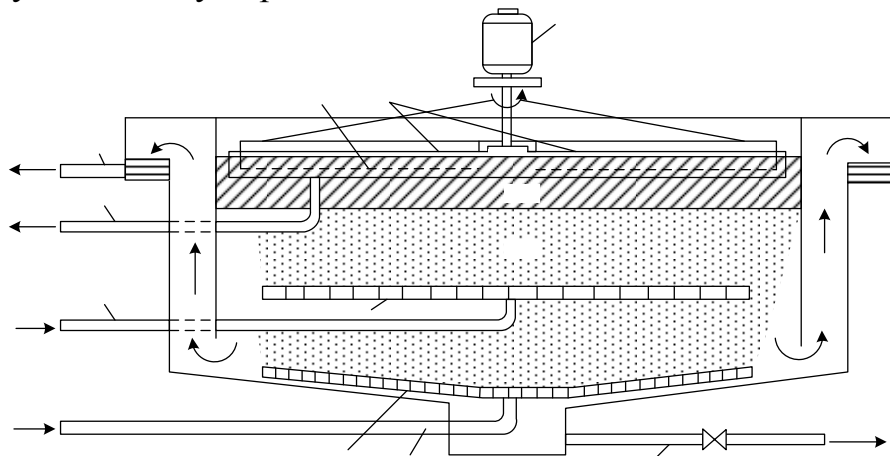


Рис. 2.3 Схема флотаційного ущільнювача на очисних спорудах Хоста-Кудепста: I – зона флотації; II – зона ущільнення сфлотованого активного мулу; 1 – надходження робочої рідини; 2 – розподільні труби робочої рідини; 3 – мулові розподільні труби; 4 – надходження активного мулу або фугата; 5 – відвід ущільненого сфлотованого активного мулу фугата; 6 – відвід під муловою води; 7 – лоток для збору ущільненого активного мулу або фугата; 8 – скрібки; 9 – електродвигун приводу скребка; 10 – трубопровід для випорожнення флотатора.

В Англії та США флотаційне ущільнення активного мулу отримує застосування при скороченні об'ємів аеробних стабілізаторів, метантенків, а також перед механічним зневодненням.

Для інтенсифікації процесу і підвищення концентрації в ряді випадків флотацію ведуть з додаванням поліелектролітів.

Іноді ущільнення надлишкового активного мулу проводять спільно з осадом первинних відстійників. У цьому випадку досягається деяке зниження вологості і змішування суміші. При сумісному ущільненні активного мулу і осаду первинних відстійників ущільнювач доцільно використовувати як резервуар-регулятор витрати осаду для подальшої його обробки. Для кращого змішування активного мулу з осадом тривалість перебування суміші в резервуарі-регуляторі визначається з урахуванням режиму випуску осаду з первинних відстійників і надходження активного мулу. Для скорочення обсягу резервуара-регулятора осаду, кращого ущільнення суміші, поліпшення її структури та скорочення питомого опору в цей же резервуар доцільно приймати промивну воду від скрубєрів газоочистки після термічного сушіння осадів, фільтрат від вакуум-фільтрів або фільтр-пресів, а також промивну воду від регенерації фільтрувальної тканини. З урахуванням домішок зазначених стоків загальний обсяг резервуара-регулятора розраховується на тривалість їх перебування в межах 4 – 8 год. Зливна вода прямує в головні споруди або при належному стані може використовуватися в обороті системи газоочистки або шлаковидалення.

Запропонована схема спільного ущільнення надлишкового активного мулу і осаду з первинних відстійників. За даною схемою надлишковий активний мул подається в преаератори, звідки зі стічною рідиною надходять у первинні відстійники, осаджувана суміш з яких з концентрацією 6 – 8 кг/м³ відкачується в мулоущільнювачі. В нього подається промивна вода (стічна рідина) у співвідношенні 1:1. Поряд з промивною водою в ущільнювач може подаватися розчин хлорного заліза (доза 0,5% маси сухої речовини). За 3-годинне ущільнення вологість вивантажуваної суміші може знижуватися до 93 – 94%.

Очищення стічних вод зі сумісним ущільненням осаду первинних відстійників і активного мулу представлено на (рис. 2.4). Суміш очищувальної стічної рідини з частиною активного мулу (5% і більше загальної кількості мулу) подається в преаератор, де аерується протягом 5 – 20 хв, а потім освітлюється в первинному відстійнику протягом 30 – 100 хв залежно від осаджуваності суміші. Осаджуваний надлишковий активний мул в суміші з осадом з первинних відстійників надходить в цех механічного зневоднення.

Активний мул, який виноситься з первинних відстійників, компенсує частину циркулюючого активного мулу, що подається на аеротенки. Отже, перед преаераторами подається така частина активного

мулу, яка перевищує його надмірну кількість, але дозволяє виділити в первинних відстійниках весь надлишковий активний мул.

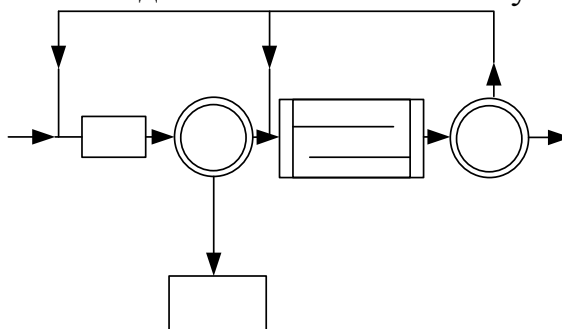


Рис. 2.4 Схема очистки стічних вод з сумісним ущільненням осаду первинних відстійників та активного мулу: 1 – надходження стічних вод; 2 – преаератор; 3 – первинний відстійник; 4 – аеротенк; 5 – вторинний відстійник; 6 – відвід очищеної стічної рідини; 7 – надходження активного мулу в аеротенк; 8 – надходження активного мулу в преаератор; 9 – надходження суміші осаду первинних відстійників та надлишкового активного мулу на механічне зневоднення; 10 – цех механічного зневоднення.

Запропонований спосіб дає можливість отримувати один вид осаду – суміш з первинних відстійників і одночасно виділяти з активного мулу більш великі мінералізовані частки, використовуючи для очищення стічних вод в аеротенках більш активну частину мулу, що виносяться з відстійників. В результаті інтенсифікується процес очищення стічних вод в аеротенках. Перед механічним зневодненням суміш може додатково ущільнюватися в резервуарі-регуляторі витрати осаду.

2.2. Згущення осадів на вібраційних фільтрах, сепараторах і центрифугах

Для згущення осадів стічних вод можуть застосовуватися різні згущувальні барабани, а також мішковинні, пористі (губчасті) або рукавні фільтри і безнапірні вібраційні фільтри, що представляють собою похило встановлену жорстку віброуючу перфоровану перегородку (металеву сітку) або сито, через яке фільтруються згущувані осади. При частоті вібрації 30 – 50 Гц, прискоренню 8 – 10 g і амплітуді коливань металевої сітки 0,6 – 0,8 мм активний мул може згущуватися до 93 – 97%-ої вологості, а його суміш з осадом первинних відстійників – до 86 – 88%-ої вологості при винесенні з фільтратом 5 – 30% сухої речовини. Сепаратори застосовуються для згущення активного мулу і фугату, одержуваного при зневодненні осадів на шнекових центрифугах. Тарілчасті сепаратори мають високий фактор поділу і дають відносно чистий фугат. Однак через забивання міжтарілкового простору частинками, розміри яких

перевищують 0,4 – 0,8 мм, для витягання більш крупних включень перед тарілчастими сепараторами встановлюються сита або барабанні сітки. Схема установки барабанної сітки наведено на рис. 2.5.

Оброблений активний мул або фугат подається у внутрішню порожнину обертальної барабанної сітки. Частинки, затримувані на внутрішній стороні сітки, змиваються водою, яка подається з насадок під тиском, і відводяться по лотку.

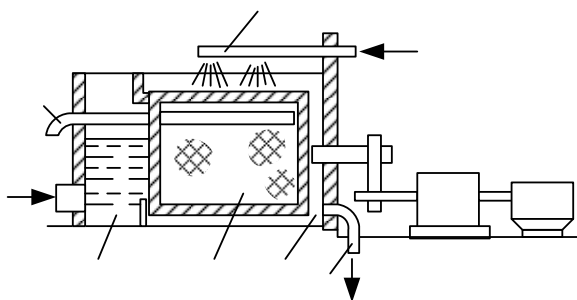


Рис. 2.5 Схема установки барабанної сітки: 1 – вхідний відсік осаду; 2 – обертальна барабанна сітка; 3 – вихідний відсік осаду; 4 – відвідний трубопровід; 5 – редуктор; 6 – електродвигун; 7 – промивний пристрій; 8 – відвід вилучених забруднень і промивної води.

Рідинні сепаратори з тарілчастими вставками, що випускаються промисловістю, мають в основному однаковий пристрій робочого органу (рис. 2.6). Принцип дії їх заснований на тому, що частинки, завислі в сепарувальній рідині, в міжтарілковому просторі піддаються дії двох сил, з яких одна P_n спрямована радіально до периферії ротора, а інша P_c – до центру. Під дією рівноважних цих сил P частинки осідають на внутрішній поверхні пакета тарілок. Утворений кек зсувається під дією відцентрової сили до периферії ротора, де або накопичується в збірнику і періодично вивантажується, або безперервно вивантажується через сопла.

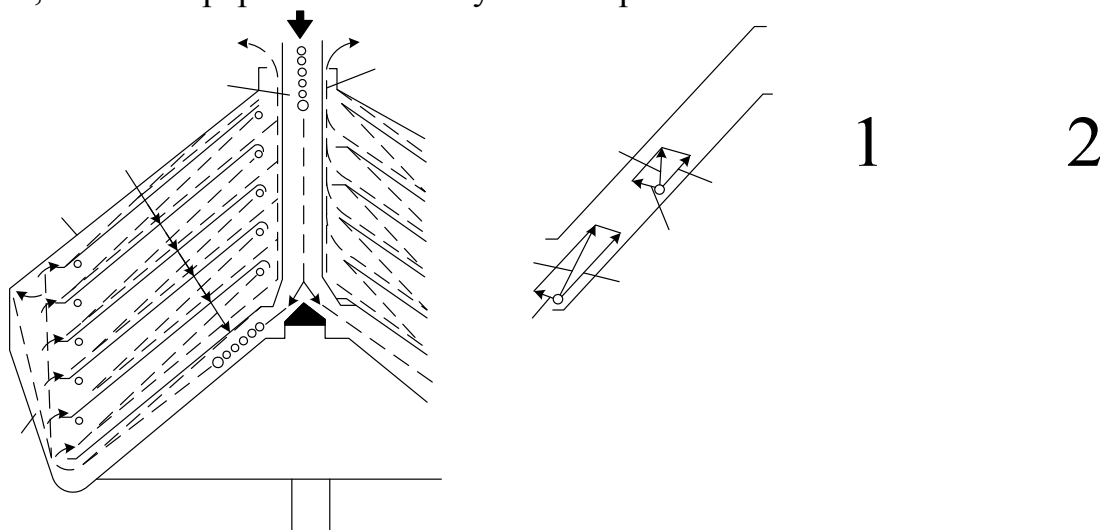


Рис. 2.6 Схеми установок та роботи тарілчастого сепаратора: 1 – живильна труба; 2 – тарілки; 3 – ротор; 4 – збірник кека; 5 – зливна труба.

Освітлена рідина (фугат) протилежним потоком виноситься до осі обертання сепаратора і виводиться трубою.

В безперервно діючих сепараторах з сопловим навантаженням вихідну суспензію можна ущільнювати лише до пастоподібного продукту, так як більш сухий kek забиває сопла.

Сучасні рідинні сепаратори – центрифуги з високою частотою обертання роторів, при якій створюється відцентрова сила, що дозволяє виділяти в результаті доцентрового прискорення частинки діаметром менше 1 мк при різниці щільності рідкої і твердої фаз більше 3%. Таким чином, при тонкошаровому поділі суспензій на рідинних сепараторах усувається основний недолік центрифуг – великий винос зважених речовин з фугату. Однак висока ефективність затримання сухої речовини призводить до суттєвого підвищення вологості кеку. Це пояснюється тим, що дрібні частинки, затримувані на сепараторах, мають більший вміст зв'язаної води, ніж великі.

Запропоновано кілька формул для визначення продуктивності рідинних сепараторів. Більшість з них пов'язано з визначенням експериментальних констант і введенням низки припущень, що ускладнює їх практичне використання. Найбільш прийнятною є уніфікована методика технологічного розрахунку. За цією методикою гранична продуктивність рідинних сепараторів $Q_{пр}$ розраховується з урахуванням режиму потоків рідини в міжтарілковому просторі за формулою:

$$Q_{пр} = \frac{2\pi z R_{ср}^2 h \omega}{h \sqrt{\frac{\omega \sin \beta}{v} - 1}} \cdot K_{кр}, \quad (2.1)$$

або після спрощення:

$$Q_{пр} = 2\pi z R_{ср}^2 h \omega \eta_{кр}, \quad (2.2)$$

де z – кількість тарілок; $R_{ср}$ – середній радіус тарілки; h – міжтарілковий проміжок; ω – кутова частота обертання ротора сепаратора; β – половина кута у вершини конуса; v – кінематична в'язкість середовища; $K_{кр}$ та $\eta_{кр}$ – критичні значення параметрів K і η .

Значення критерія K визначається за формулою:

$$K_{кр} = (\lambda - 1) \eta_{кр}, \quad (2.3)$$

$$\lambda = h \sqrt{\frac{\omega \sin \beta}{v}}, \quad (2.4)$$

де λ та η – критерії гідродинамічної подібності.

З урахуванням отриманих значень граничної продуктивності та конструктивних даних сепараторів визначаються критерії λ та η , а також критерій $K_{кр}$. Для сепараторів різних типів $\lambda = 7,5 - 9,6$, а η – відповідно 650 – 559.

Критерій гідродинамічної подібності потоків рідин в міжтарілковому просторі сепараторів K характеризує умови, за яких суспензія активного мулу буде розділятися із заданою технологічною ефективністю на будь-якому сепараторі аналогічного типу. Середнє значення критерію K склало 0,0044. На підставі отриманого значення K побудована залежність $\lambda = f(\eta)$ при $K = const$, що характеризує область технологічної ефективності сепарування активного мулу (рис. 2.7).

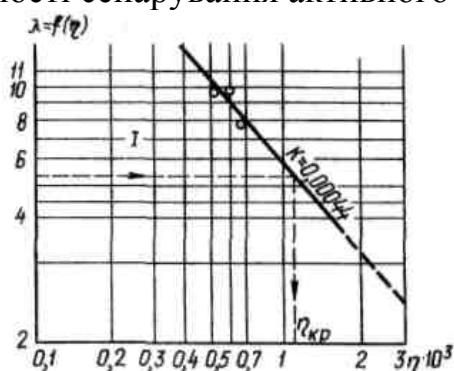


Рис. 2.7 Графік для визначення технологічної ефективності сепарування активного мулу: 1 – область технологічної ефективності сепарування активного мулу

У саморозвантажувальних тарілчастих сепараторах з автоматичним пульсуючим вивантаженням зневоднений осад збирається в спеціальних бункерах. Вивантаження осаду з бункерів зазвичай здійснюється автоматично через певний інтервал часу.

Час безперервної роботи сепаратора між розгрузками ротора T , хв, залежить від кількості зважених речовин, що виділяють, і продуктивності сепаратора і може бути визначений за формулою:

$$T = V \cdot 600 / QE, \quad (2.5)$$

де V – шламовий об'єм ротра, л; Q – продуктивність сепаратора, л/год; E – кількість кека, який віділяють, % кількості згущеного мулу.

При роботі на сепараторах соплового типу великий вплив на процес має діаметр сопел. Сопла з діаметром менше 1,2 мм швидко забиваються, а при збільшенні діаметра сопел підвищується вологість кеку.

Нижче в табл. 2.1 наведена технічна характеристика сепаратора СДС-631К-04.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика сепаратора СДС-631К-04

Діаметр ротора, мм	630
Частота обертання ротора, об./хв.	4200, 5000
Індекс продуктивності, м ²	40000, 56500
Розміри (довжина, ширина, висота), мм	2320,2150, 2400
Потужність електродвигуна, кВт	75
Маса сепаратора, кг	3600
Продуктивність за вихідним активним мулом, м ³ /год	25 – 30
Концентрація згущеного мулу, кг/м ³	25 – 40
Кількість зважених речовин у фугаті, мг/л	200 – 300

Для видалення крупних включень з активного мулу перед сепараторами необхідно встановлювати барабанні сітки або самоочисні фільтрувальні пристрої (СФП). Продуктивність СФП становить 25 – 30 м³/год, на них затримується 1,5 – 2% сухої речовини активного мулу, вологість виділеного активного мулу складає 90%.

Проведені випробування безперервно діючого сепаратора НВ-600 з гідромеханічним вивантаженням згущеного осаду. Сепаратор НВ-600 відрізняється від серійно випущених соплових сепараторів збільшеним об'ємом пакету тарілок і наявністю пристрою для примусового безперервного транспортування згущеного продукту всередині ротора за допомогою шнека і ножів, а також зменшеним числом розвантажувальних сопел (з 12 до 2) і збільшеним їх діаметром (до 2,0 – 3,7 мм). При попередньому виділенні абразивних включень на гідроциклоні і частинок розміром більше 0,5 мм на сітчастих пристроях досягнута стійка робота сепаратора НВ-600 і його продуктивність отримана на рівні 20 – 25 м³/год із збільшенням концентрації активного мулу з 4,8 – 7 до 50 – 60 кг/м³ при вмісті завислих речовин у зливній воді 200 – 400 мг/л. Розроблена також конструкція подібного сепаратора типу НВ-750 продуктивністю 70 – 80 м³/год.

В останні роки ряд зарубіжних фірм (Гумбольдт (ФРН), Пеннволт (Англія), Альфа-Лаваль (Швеція) та ін) почали випускатися центрифуги для згущення активного мулу.

Продуктивність центрифуги типу ОГШ 501 К-10 зі зйомним диском в режимі безреагентного згущення активного мулу складає 10 – 16 м³/год при ефективності затримання сухої речовини відповідно 92 – 85%. При оптимальному факторі поділу (1200 – 1600) концентрація активного мулу підвищується з 0,5 – 0,6 до 6 – 7%. Зі збільшенням відносної окружної частоти обертання шнека вологість зневодненого мулу збільшується при одночасному підвищенні ефективності затримання сухої речовини. Відносна частота обертання шнека регулюється в залежності від концентрації і водовіддавальних властивостей активного мулу в межах

0,1 – 0,4 м/с, для чого центрифуга оснащена пристроєм для регулювання частоти обертання шнека. Центрифуга може застосовуватися також для згущення фугату, отриманого при безреагентному центрифугуванні осадів стічних вод. В даний час освоєно серійний випуск центрифуг ОГШ 501 К-10 і розробляється типорозмірний ряд центрифуг для згущення.

2.3. Промивка і ущільнення збродженого осаду

Промивання анаеробно зброджених осадів очищеною стічною рідиною або технічною водою здійснюється з метою скорочення витрати хімічних реагентів на коагуляцію та поліпшення ущільнення осадів. Витрата промивної води на діючих очисних станціях становить 1 – 5 м³ на 1 м³ осаду, а тривалість ущільнення – 5 – 20 год. Осад змішується з промивною водою протягом 5 – 10 хв в окремому резервуарі при одночасній продувці повітрям. Для ущільнення промитого осаду застосовуються радіальні відстійники-ущільнювачі.

В процесі промивки збродженого осаду виносяться колоїдні і дрібнодисперсні частинки і знижується його лужність, внаслідок чого осад краще ущільнюється і значно скорочується витрата хімічних реагентів на коагуляцію. Винос зважених речовин при цьому коливається від 1 до 4 г/л. Скидання концентрованої зливної води на очисні споруди станцій призводить до істотного збільшення навантаження на них, що погіршує умови очищення стічних вод. Застосування прямиотечійної чи протитечійної схеми промивання з повторним використанням зливної води, як це прийнято в США, дозволяє об'єднати споруди по промивці і ущільненню осаду, а також дещо скоротити винос зважених речовин із зливною водою.

Для визначення кількості промивної води можна користуватися формулами, що базуються на зміні лужності ε осадів при розбавленні їх водою, що має меншу лужність. Для одноступінчатого промивання:

$$\varepsilon = (L + nL') / (n + 1), \quad (2.6)$$

де ε – лужність промитого осаду; L та L' – лужність відповідно збродженого осаду і промивної води; n – відношення об'ємів промивної води та осаду. При повторному промиванні осаду m разів в одному або декількох послідовно розташованих резервуарах формула (2.6) набуває вигляду:

$$\varepsilon = \frac{L + L'[(n + 1)^m - 1]}{(n + 1)^m}, \quad (2.7)$$

а при промиванні за протитечійним принципом:

$$\varepsilon = \frac{(L + n^2 + n) \cdot L'}{n^2 + n + 1}. \quad (2.8)$$

Промивання здійснюється очищеною стічною рідиною з лужністю 4,7 – 5,5 мг·екв/л. Осад перемішується з водою у відповідних об'ємах, а потім відстоюється протягом 2 – 24 год. При промиванні досягається суттєве зниження питомих опорів зброджених осадів (рис. 2.8). Процес зниження питомого опору осадів виражається рівнянням:

$$\lg R_{\Pi} = \lg R_e^{-\alpha n}, \quad (2.9)$$

де $\lg R_{\Pi} = r_{\Pi} \cdot 10^{-10}$ – питомий опір промитого осаду, см/г;
 $R = r \cdot 10^{-10}$ – питомий опір вихідного осаду, см/г; α – коефіцієнт, що залежить від питомого опору осаду, об'єму промивної води, концентрації вихідного та ущільненого після промивання осаду, виносу зважених речовин із зливною водою та інших факторів; n – відношення об'єму промивної води до об'єму осаду (кількість промивної води – в м³ на 1 м³ осаду).

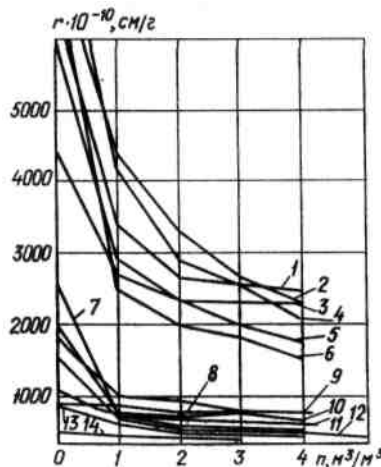


Рис. 2.8. Залежність питомого опору осадів від кількості промивної рідини n , м³ на 1 м³ осаду (в дужках наведені концентрації сухої речовини осаду): 1, 4 – для збродженої в термофільних умовах суміші осаду первинних відстійників та активного мулу Курьянівської станції аерації (відповідно 22,4 та 23,5 г/л); 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10 і 12 – для збродженої в мезофільних умовах суміші осаду первинних відстійників та активного мулу відповідно станцій аерації Люблінської (341 г/л), Курьянівської (27,2 г/л), Люблінської (28 г/л), Кунцівської (76,7 г/л), Калінінградської Московської обл. (103,6 г/л); Кунцівської (66,7 г/л), Кунцівської (27,2 г/л); 7 та 13 – для збродженої відповідно в термофільних та мезофільних умовах осаду первинних відстійників Мінської станції аерації (29,6 та 56,8 г/л); 11 – для сирого осаду первинних відстійників Кунцівської станції аерації (84,2 г/л); 14 – для сирого осаду станції м. Іванова (38,9 г/л).

Результати досліджень по визначенню значення коефіцієнта α (рис. 2.9) свідчать про те, що промивання найбільш ефективно для зброджених осадів з високими питомими опорами. Для осадів з питомими опорами нижче $1000 \cdot 10^{10}$ см/г промивка малоефективна.

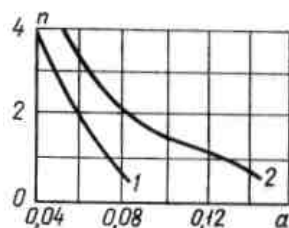


Рис. 2.9 Залежність коефіцієнта α від n : 1 – при $R = 4000 \div 10000$ см/г; 2 – при $R = 1000 \div 4000$ см/г

Так, як сирі осаді первинних відстійників мають питомі опори нижче $1000 \cdot 10^{10}$ см/г, то необхідність у їх промиванні відпадає. У зв'язку з тим, що активний мул, який виділяється при освітленні очищеної стічної рідини, має дрібнодисперсний склад і велику кількість зв'язаної води, то його промивка також недоцільна.

Досліди з ущільнення промитих осадів показали, що із збільшенням часу ущільнення понад 12 год вологість осаду станції аерації знижувалася незначно, а питомий опір зростав. Після ущільнення промитого осаду в залежності від його початкової вологості (94,3 – 96,0%) концентрація сухої речовини збільшувалася до 5,3 – 9,1%, при цьому об'єм осаду зменшувався в 1,4 – 2,5 рази. Зольність промитого осаду у порівнянні з вихідною зольністю збільшилася в 1,01 – 1,14 рази.

Ущільнення промитого осаду станцій аерації протягом 12 – 16 год знижувало вологість з 96,7 – 97,8 до 94,5 – 96%. При подальшому збільшенні тривалості ущільнення не відзначалося значного збільшення концентрації осадів.

Як зазначалося вище, істотним недоліком промивки є великий винос зважених речовин із зливною водою. Так, на московських станціях аерації концентрація завислих речовин в зливній воді внаслідок дії ущільнювачів після промивки досягає 4000 мг/л.

Винос зважених речовин із зливною водою в процесі промивання і ущільнення осаду досягає 10,6 – 16,3% кількості сухої речовини оброблюваного осаду. Осідаючі речовини становлять 12 – 22% загальної кількості зважених речовин, що містяться в зливній воді. Скидання зливної води в потік стічних вод перед первинними відстійниками порушує роботу очисних станцій та зменшує ступінь очищення стічних вод. Для зниження виносу зважених речовин із зливною водою запропоновано здійснювати обробку осаду (замість промивної води) слабкоконтрованими розчинами хімічних реагентів [3-5, 20-23].

Найбільше зниження питомого опору осадів досягається при обробці їх 0,075% розчином хлорного заліза. Обробка цим розчином дозою 1 – 1,5% осадів з величиною $R < 1500$ см/г і дозою 2 – 2,5% осадів з величиною $R > 1500$ см/г дозволяє вести процес при оптимальних режимах з мінімальним виносом зважених речовин із зливною водою (рис. 2.10). При цьому загальна доза хлорного заліза, необхідна на обробку осаду його слабкоконтрованим розчином та наступної коагуляції, відповідає дозі хлорного заліза, необхідної для коагуляції осаду після промивання його раніше згадуваним способом.

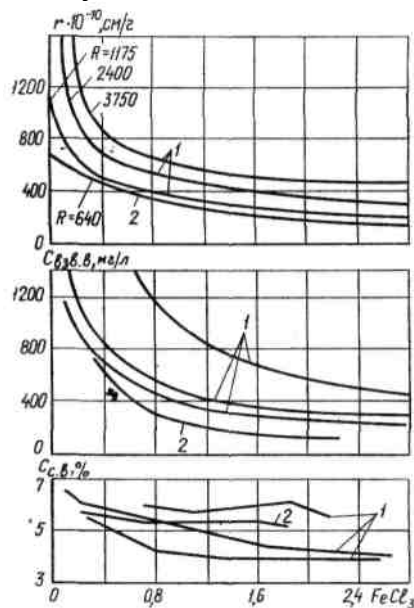


Рис. 2.10 – Залежність питомого опору, концентрації зважених речовин $C_{зв.реч.}$ в зливній воді та вмісту сухої речовини в осаді від дози $FeCl_3$, % маси сухої речовини осаду $C_{ср.}$ при попередній коагуляції: 1 та 2 – осад, зброджений відповідно в термофільних та мезофільних умовах.

Отже, осад оброблений слабкоконтрованим розчином хлорного заліза, ущільнюється гірше, ніж осад, промитий водою без застосування реагентів. Пояснюється це тим, що при обробці осаду розчином хлорного заліза коагулюються і осідають колоїдні і дрібнодисперсні речовини осаду, які містять велику кількість зв'язаної води. Проте тривалість ущільнення осадів при цьому скорочується до 4 – 6 год, а вміст завислих речовин в зливній воді знижується до 200 – 600 мг/л (див. рис. 2.10).

Якщо припустити, що концентрація завислих речовин у зливній воді при обробці осаду слабкоконтрованим розчином хлорного заліза знижується приблизно в 5 разів у порівнянні з їх вмістом в промивній воді без коагулянту, а кількість зливної води при цьому зменшується приблизно в 2 рази, то очевидно, що винос сухої речовини осаду зменшується приблизно в 10 разів. Крім того, завдяки зменшенню обсягу

зливної води і тривалості ущільнення значно скорочується об'єм мулоущільнювачів.

При невеликій кількості зважених речовин в зливній воді і наявності в ній непрореагованого хлорного заліза є можливість повторного використання цієї води для попередньої обробки осаду. Осад, отриманий після промивки зливною водою, оброблявся свіжим 0,05% розчином хлорного заліза, знову відстоювався протягом 2 – 4 год, а зливна вода, що утворилася при цьому, використовувалася для промивання нових порцій осаду. Таким чином, проводилася одноступенева і багатоступенева промивка осаду. Багатоступенева промивка сприяє подальшому зниженню питомого опору осаду.

Для здійснення технологічного процесу обробки осадів слабкоконтрованим розчином реагенту можуть застосовуватися вертикальні, радіальні або горизонтальні відстійники.

При подачі осаду і слабкоконтрованого розчину реагенту, на різних рівнях з одного торця горизонтального відстійника або всередину вертикального (радіального) відстійника і випуску їх відповідно з іншого торця або периферійної частини споруди спочатку відбудеться змішування осаду з розчином реагенту, а потім розділення суміші (рис. 2.11).

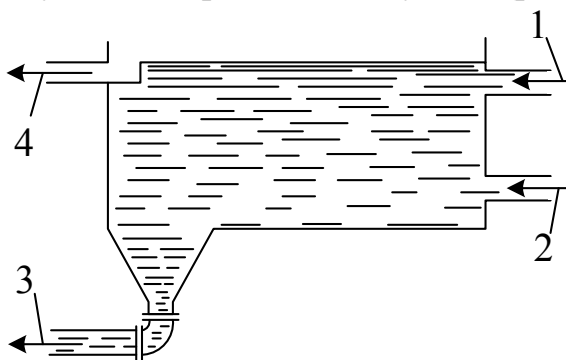


Рис. 2.11. Схема прямотечійної обробки зброджених осадів стічних вод слабкоконтрованим розчином реагенту: 1 – надходження осаду; 2 – надходження промивної води; 3 – відвід промитого осаду; 4 – відвід використаної промивної води.

У цьому випадку осад надходить у відстійник вище рівня подачі розчину реагенту, а злив води проводиться у верхній частині іншого торця відстійника або в периферійно розташовані жолоби. Таким чином, осад і розчин реагенту рухаються назустріч один одному, завдяки чому відбувається їх перемішування, а також промивання і ущільнення осаду.

Обробка осаду слабкоконтрованим розчином реагенту може проводитися у двох або декількох послідовно розташованих відстійниках (рис. 2.12).

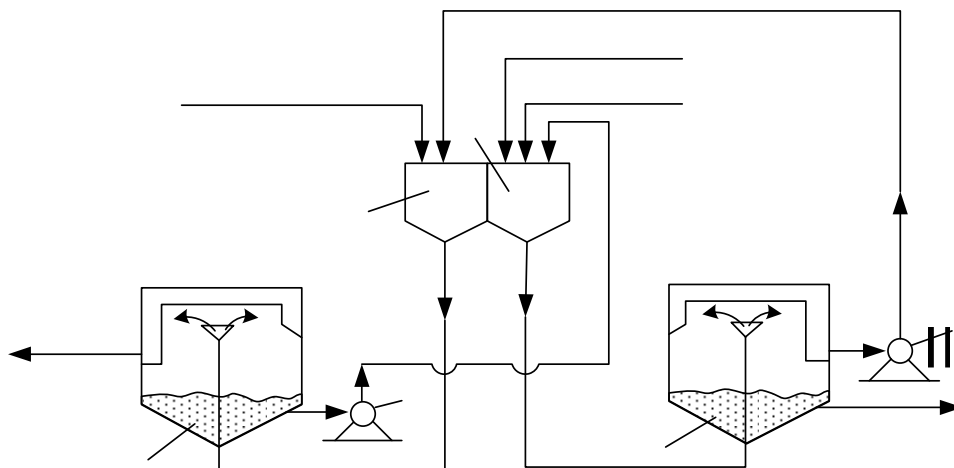


Рис. 2.12 Принципова технологічна схема промивання осаду слабкоконтрованим розчином хлорного заліза з використанням радіальних або вертикальних відстійників-ущільнювачів: 1 та 2 – мулоущільнювачів відповідно I та II ступеня; 3 та 4 – промивні резервуари відповідно I та II ступеня; 5 – насоси; I – зливна вода в основні споруди; II – зброжений осад; III – фільтрат + FeCl_3 ; IV – технічна вода; V – осад I ступеня; VI – мулова вода II ступеня; VII – осад на обезводнення.

У цьому випадку промивний осад рухається назустріч розчину реагенту; при цьому, якщо осад подається в перший по руху відстійник, то розчин реагенту – в останній. Таким чином, цей розчин використовується багаторазово.

2.4 Обробка осадів при їх утилізації

Існуючі способи обробки осадів повинні сприяти найбільш повному їхньому використанню. Необхідно уникати таких способів обробки, які приводять до втрати цінних речовин в осадах або обмежують їх утилізацію.

Спільна обробка осадів і ТПВ може дати цінне компостне добриво. Якщо, наприклад, прийняти однакову кількість осадів вологістю 96,5% і роздрібнених ТПВ вологістю 40-42%, то їх середня вологість після змішування буде близько 70%. ТПВ суттєво поліпшують структуру осадів і полегшують наступну їх обробку. Відсоток органічних речовин у ТПВ при змішуванні з осадами збільшується з 65 до 72-75%.

До основних способів попередньої обробки осадів відносяться: ущільнення, зневоднення, термічне сушіння і спалювання.

Останній спосіб обробки вважається найменш ефективним і забруднюючим навколишнє середовище. Він може бути виправданий лише в тих випадках, коли жоден інший спосіб використання осадів неможливий. До таких випадків може відноситись необхідність знищення

невеликих кількостей особливо шкідливих домішок, виділення і використання яких іншими шляхами виключається.

Ущільнення осадів, хоча і дає найменший відсоток зниження вологості, зате приводить до найбільшого ефекту видалення води і максимального зменшення первинного об'єму осадів. Так, якщо, наприклад, взяти 1 м³ активного мулу з вихідною вологістю 99,5%, то після ущільнення його до 98% вологість зменшиться на 1,5%, а об'єм скоротиться в 4 рази, тобто до 250 л. В результаті, при невеликому ущільненні мулу видаляється 750 л води. У той же час при зневодненні осаду з 98 до 80% вологість знижується на 18%, а кількість води, що видаляється, – лише на 225 л.

Враховуючи складність в експлуатації і більшу вартість механічного зневоднення із застосуванням дорогих реагентів, що знижують в осадах вміст білка, вітамінів, біогенних речовин, за останні 10-15 років у нас і за кордоном намітилася тенденція в ряді випадків здійснювати необхідну обробку шляхом більш глибокого ущільнення мулу з передачею його відразу на термічне сушіння, мінаючи стадію механічного зневоднення.

2.5 Двоступінчаста сепарація

Надлишковий активний мул з вихідною вологістю 99,5-99% спочатку подається на сепаратор першого ступеня. Згущений мул до вологості в середньому 97,5% надходить у проміжну ємність, звідки насосами перекачується в сепаратор другого ступеня, де згущається до вологості 96%.

Двоступінчасте ущільнення мулу здійснюється спочатку на термогравітаційному ущільнювачі (ТГУ), а потім на сепараторі. Після попереднього нагрівання мулу до 70–90°C і відстоювання протягом 30–60 хв досягається більш глибоке згущення активного мулу в середньому до 96,5%. Після нагрівання менш грузлий мул краще сепарується, у середньому до 95% вологості. Продуктивність сепаратора після ТГУ складає 10–12 м³/год (замість 8–10 м³/год при непідігрітому мулі). При цьому сепаратор на II ступені працює більш тривалий час – 7-8 год (замість 5-6 год на непідігрітому мулі) з виділенням більш чистого фугата.

Слід також зазначити, що підігрів мулу в ТГУ протягом 30 хв забезпечує повну загибель яєць гельмінтів і знищення кишкової палички, що має велике значення для обробки осадів побутових стоків. При роботі ТГУ як дегельмінтизатора продуктивність його подвоюється. Так, для ТГУ ємністю 12 м³ продуктивність дорівнює 500–600 м³/добу, при ємності 25 м³ – 1000–1200 м³/добу.

ТГУ який має конструкцію наведену на (рис. 2.13) складається з металевого корпусу, центральної камери підігріву, зовнішньої вертикальної труби з патрубками для зливу відстояної мулової води на

різних рівнях, виносної щілинної камери із прозорими вставками для спостереження за процесом ущільнення.

У результаті підігріву відбувається розщеплення гідратної оболонки, що міцно втримує дрібні частки мулу, які швидко збираються в більші гранули, осідають і ущільнюються.

У порівнянні із гравітаційним ущільненням активного мулу у відстійниках-ущільнювачах згущення мулу в ТГУ здійснюється інтенсивніше приблизно в 20 раз.

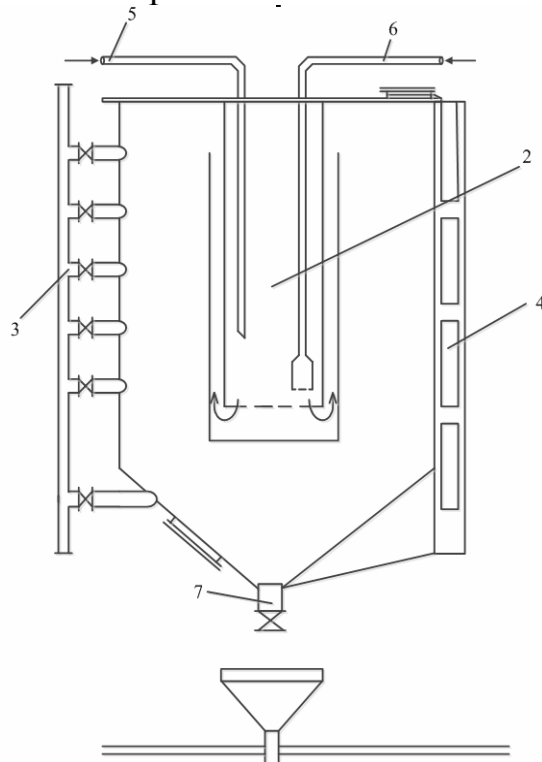


Рис. 2.13. Термогравітаційний ущільнювач мулу (ТГУ)

1 - корпус (металевий), 2 - камера підігріву, 3 - зливна труба, 4 - виносна щілинна оглядова камера, 5 - мулова труба, 6 - паропровід; 7 - нижній патрубок із засувкою

На рис. 2.14 показаний розріз і план зверху **термогравітаційного і термофлотаційного ущільнювача**. Ущільнювач складається з корпусу з камерою підігріву, розміщеною у кожусі. Підігрітий мул, піднімаючись по кожухові, розподіляється по радіальних щілинних лотках, завдяки чому здійснюється рівномірне відстоювання мулу по всьому живому перетину апарата. Конструкція передбачає відвід не тільки ущільненого мулу знизу апарату через патрубок із засувкою, але і сфлотованого мулу зверху через вікна, розміщені по периметру корпусу ущільнювача. З верхніх вікон мул попадає в зовнішній кільцевий жолоб, а звідти по трубі у відповідну лійку. Для посилення термофлотаційного ефекту ущільнення передбачається муловий насос із ежекторним вузлом. Конструкція передбачає можливість безперервного відводу ущільненого мулу знизу і зверху, а також мулової

води через водоприймальну трубу, встановлену всередині корпуса шарнірно і пов'язану із зовнішньою водовідвідною трубою.

Отже, в результаті термогравітаційного впливу укрупнені тверді частки мулу інтенсивно відстоюються, ущільнюються і видаляються знизу, а дрібні тверді домішки, у тому числі колоїдні, під впливом термофлотаційного ефекту піднімаються, ущільнюються і видаляються зверху. Положення водоприймальної шарнірної труби для відводу мулової води визначається за допомогою виносної щілинної камери із прозорими вставками, просвічуваними джерелом світла. На випадок переповнення апарата передбачена переливна труба [2, 3].

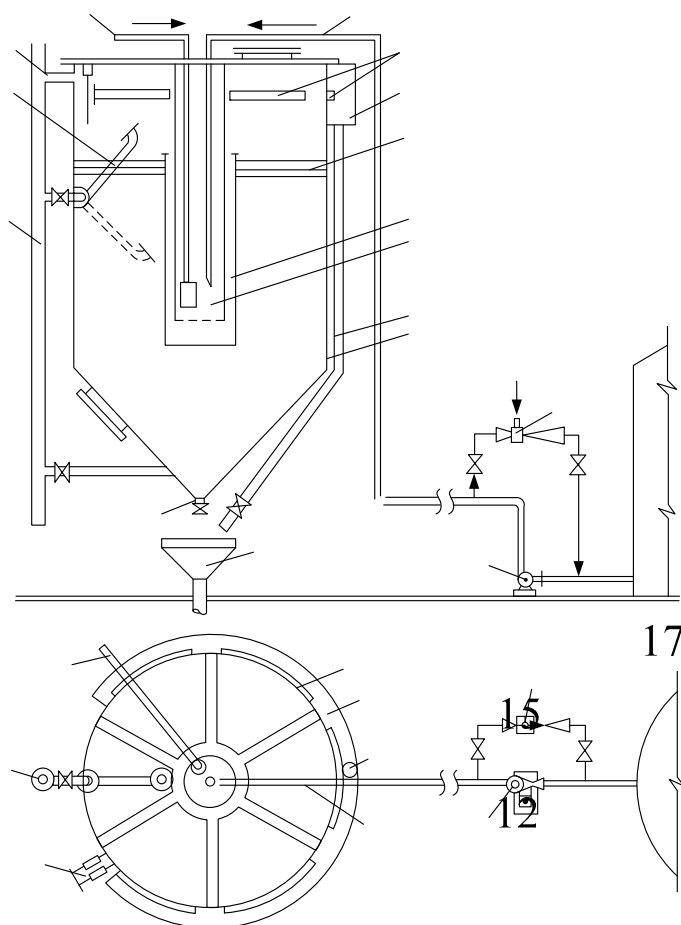


Рис. 2.14. Термогравітаційний і термофлотаційний ущільнювач:
 1 - корпус; 2-камера підігріву, 3 - кожух, 4 - радіальні щілинні лотки, 5 - нижній патрубок із засувкою; 6 - верхні вікна; 7 - зовнішній кільцевий жолоб; 8 - відвідна мулова труба, 9 - лійка; 10 - муловий насос; 11 - ежектор, 12 - водоприймальний шарнірний патрубок, 13 - стояк для відведення мулової води; 14 - виносна щілинна (прозора) камера, 15 - переливна труба; 16 - мулова труба; 17 – теплоносій.

Для максимального ущільнення активного мулу можуть використовуватися площадки (рис.2.15) граничного ущільнення з наступними характеристиками: 1) продуктивність площадки (при двох

завантаженнях на добу) на 1 м^2 дорівнює 1 м^3 , або $300\text{--}350 \text{ м}^3$ на рік; 2) на площадках ущільнюють активний мул до вологості $90\text{--}85\%$ протягом 5-8 год; 3) розрахункова вологість складає 90% , а час ущільнення 12 год; 4) площадки можуть працювати рівномірно цілий рік; при необхідності повинні перебувати в закритому приміщенні з мінімальною температурою взимку $+5\text{--}+8^\circ\text{C}$. Рекомендуються наступні конструктивно-технологічні характеристики: ширина площадки $5,5 \text{ м}$, довжина $30\text{--}60 \text{ м}$ і більше. У центрі площадки повинен бути влаштований дренажний лоток шириною $0,7 \text{ м}$, заповнений фільтруючим матеріалом. Рекомендований склад фільтруючого матеріалу наведений нижче.

Висота шару, см	
Робочий шар піску 1–2 мм	30–35
Підтримуючі шари гравію діаметром, мм	
3–5	15–20
10–20	10–15

Робота площадки повинна бути механізована і може бути повністю автоматизована. Збирання ущільненого мулу здійснюється механічною лопатою (шкребок), змонтованою на пересувній фермі.

Для усунення явища кальматації (засмічення фільтруючого матеріалу) передбачається гребінка-розрихлювач – антикальматиційне обладнання, змонтоване на візку в центрі пересувної ферми. Гребінка обладнана зубами, розмішеними через 100 мм , які здійснюють розпушування фільтруючого піску на глибину від 20 до 100 мм . В залежності від умов, розпушування здійснювалося через $0,5\text{--}1$ год тривалістю до 3 хв . При досягненні заданої вологості площадка вимикається з роботи і за допомогою механічної лопати звільняється від ущільненого мулу (рис. 2.15, а, б), який видаляється в бункер (резервуар), розташований на краю площадки. Звідки мулові насоси перекачують його до місця призначення. Після закінчення циклу ущільнення і видалення мулу фільтруючий матеріал повністю регенерується за допомогою напірного промивання очищеною стічною водою. Промивання здійснюється знизу нагору через дренажну трубу під напором 1 МПа протягом 3 хв . Інтенсивність промивання – $4\text{--}8 \text{ л/с}$ на 1 м^2 дренажного лотка. Під час промивання засувка на дренажній трубі закривається, а засувки на трубах подачі і випуску промивної води відкриваються. Концентрація зважених домішок у дренажній воді під час роботи площадки складає $0,04\text{--}0,48 \text{ г/л}$. Концентрація домішок у промивній воді в багато разів більше, тому рекомендується цю воду направляти в окремий резервуар, звідки після швидкого відстоювання домішки знову надходять на площадку для ущільнення. При роботі площадки в режимі зневоднення до вологості 60% час підсушування осадів складає до 3 діб. При висоті завантаження осадом $0,5 \text{ м}$ продуктивність площадки (у режимі зневоднення) дорівнює приблизно 60 м^3 на 1 м^2 у рік.

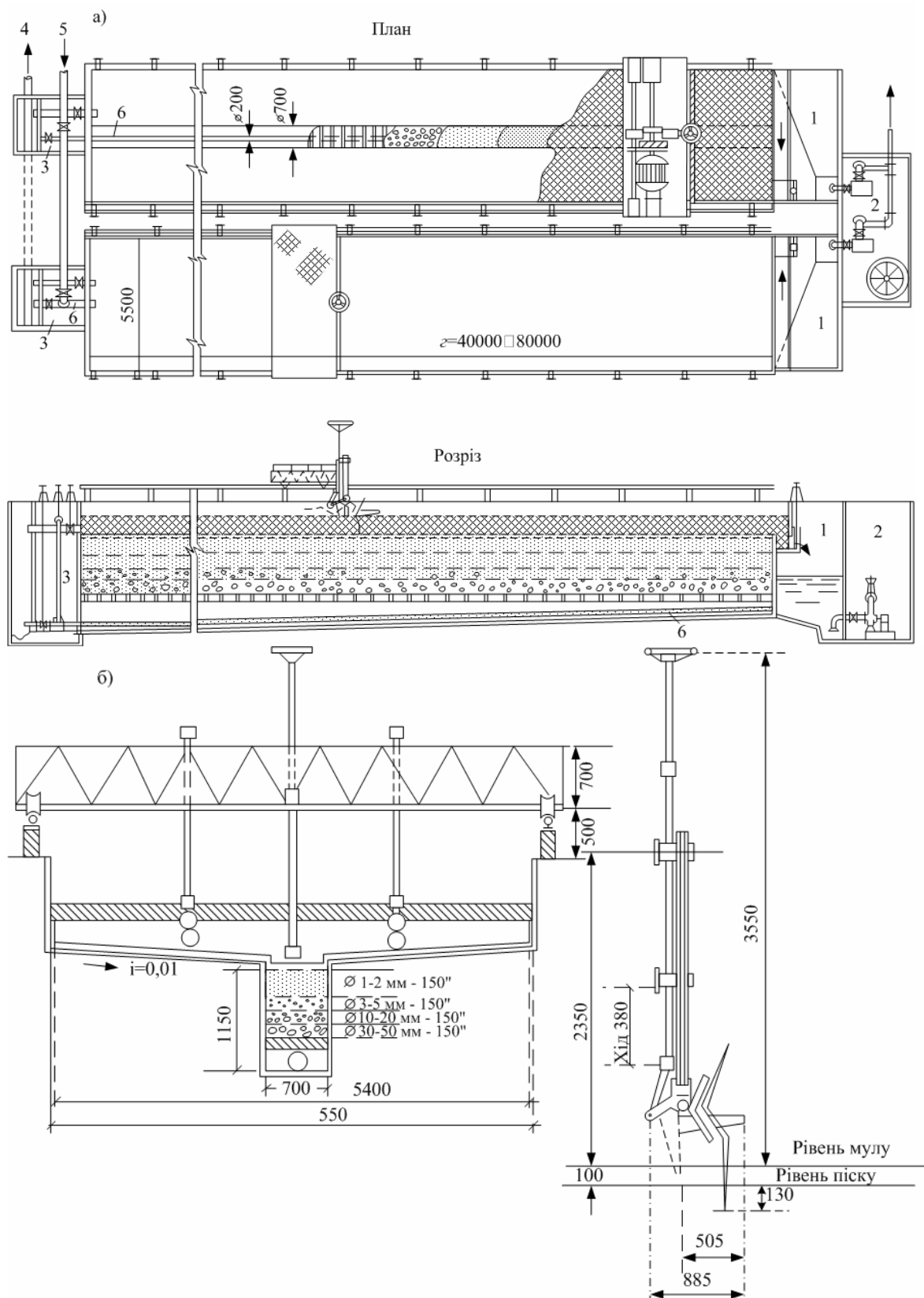


Рис. 2.15. Площадка граничного ущільнення мулу з шкребком і розпушувачем: а - план і подовжній розріз площадки: 1 - резервуар для мулу; 2 - мулова насосна станція, 3 - камера засувки, 4 - відвід дренажної води; 5 - подача промивної води і стисненого повітря; 6 - дренажна труба; б - поперечний розріз і деталь шкребка з розпушувачем

У випадку, коли розпушування є недостатнім для усунення кальматації, рекомендується використовувати «сухе промивання» фільтруючого матеріалу під час роботи площадки за допомогою повітря. Після завершення зневоднення дренажний матеріал промивають водою.

На рис. 2.16, 2.17 й 2.18 показано вплив різного ступеня ущільнення активного мулу на виробництво товарного продукту.

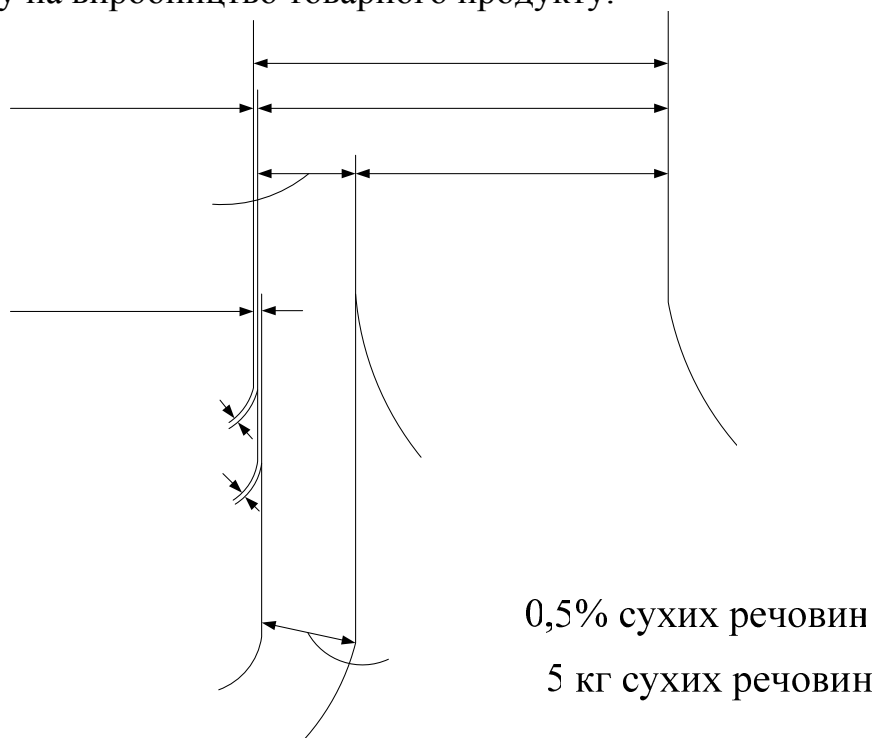


Рис. 2.16. Графік впливу гравітаційного ущільнення активного мулові до вологості 98% на термічне сушіння

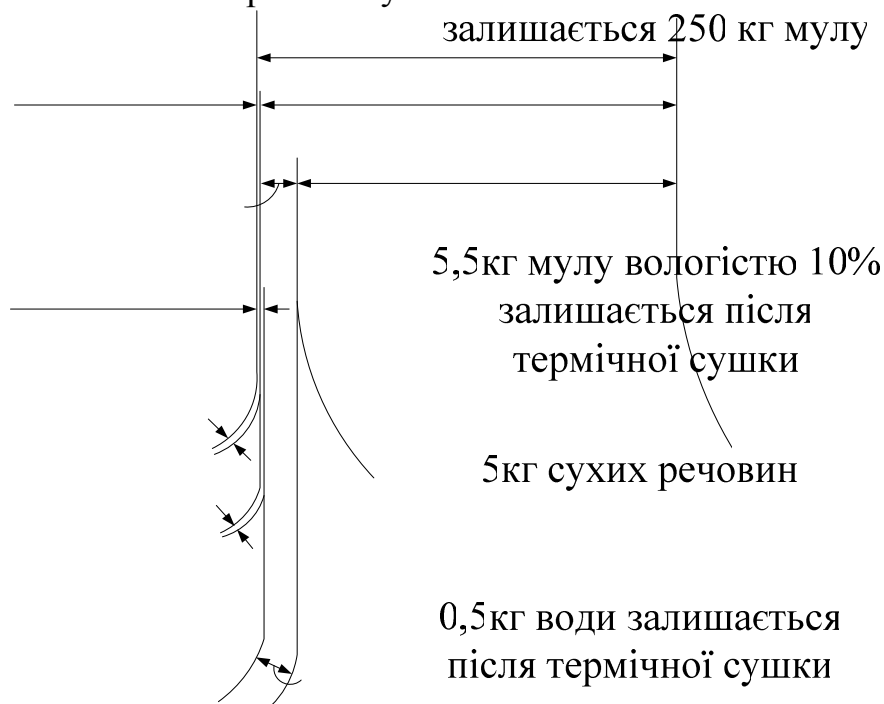


Рис. 2.17. Графік впливу двоступінчастого ущільнення активного мулові до вологості 95% на термічне сушіння

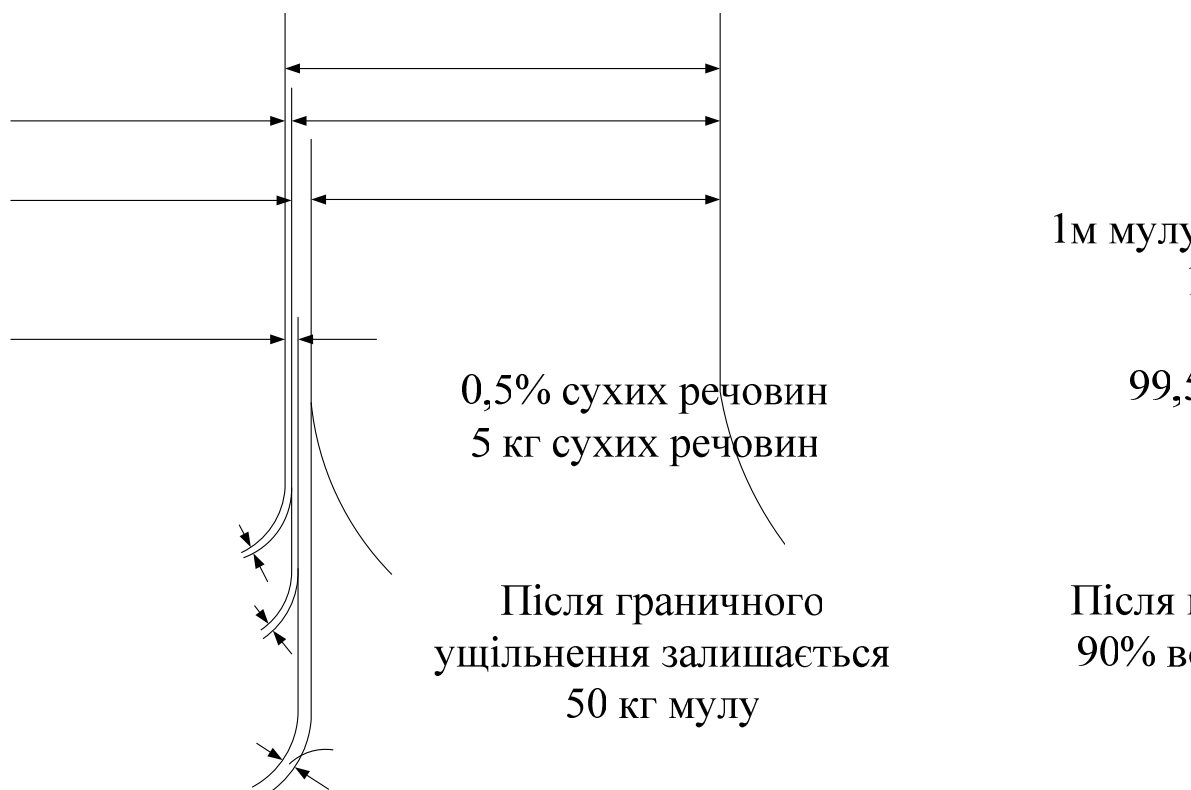


Рис 2.18. Графік впливу граничного ущільнення активного мулу до вологості 90% на термічне сушіння.

Найменш економічним є малий ступінь ущільнення мулу (до 98%), при якому на 1 м^3 мулу випаровується 244,5 кг води (рис. 2.16). Із застосуванням двоступінчастого ущільнення мулу до вологості 95% і менш (рис. 2.17) витрата теплової енергії знижується в 2,5 рази й більше, а граничне ущільнення мулу до 90% вологості (рис. 2.18) зводить роботу сушарок до необхідності випаровувати всього лише 44,5 кг води, тобто в 5 разів менше в порівнянні з першою схемою.

Контрольні запитання

1. Опишіть технологічні процеси ущільнення активного мулу і осаду первинних відстійників.
2. Проаналізуйте технологічні процеси ущільнення осадів стічних вод на вібраційних фільтрах, сепараторах і центрифугах.
3. Проаналізуйте технологічні процеси промивання і ущільнення зброженого осаду стічних вод.
4. Проаналізуйте вплив різного ступеня ущільнення активного мулу на виробництво товарного продукту.
5. Дайте характеристику процесам обробки осадів при їх утилізації.
6. Опишіть технологічні процеси двоступінчастої сепарація осадів.

Розділ 3. СТАБІЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ

3.1. Методи стабілізації осадів

Розкладання органічних речовин у кислому середовищі – процеси гниття осадів стічних вод – супроводжуються виділенням неприємних запахів, утворенням колоїдних і дрібнодисперсних часток і, отже, погіршенням водовіддачі осадів. Стабілізація – запобігання загниванню осадів – заснована на зміні фізико-хімічних характеристик осадів, що супроводжується пригніченням життєдіяльності гнильних бактерій (мікроорганізмів кислотного бродіння). Стабілізація осадів досягається:

- мінералізацією органічної речовини (анаеробне метанове бродіння, аеробна стабілізація, теплова обробка, біотермічне розкладання);
- зміною активної реакції середовища (підвищенням величини O_2 шляхом введення лугів, наприклад вапна);
- знищенням кислотних мікроорганізмів нагріванням (пастеризація, теплова обробка, термічна сушка);
- зневоднюванням осадів (видаленням вологи фільтруванням і випаровуванням);
- введенням хімічних речовин і з'єднань, що пригнічують розвиток мікроорганізмів (хімічні методи).

В залежності від прийнятого методу і ступеня обробки осадів стабілізація може бути неповною (тимчасовою) або незворотною. При мінералізації органічної речовини загнивання останнього можливе лише у разі неповного розкладу його частин. При стабілізації без мінералізації органічної речовини процес стає зворотнім при повторному зволоженні і створенні умов для життєдіяльності кислотних мікроорганізмів. Тривале зберігання осадів, раніше нагрітих або оброблених вапном та іншими хімічними речовинами, призводить до реактивації кислотних і санітарно-показникових мікроорганізмів.

У зв'язку із зміною фізико-хімічних характеристик осадів стабілізація одночасно може супроводжуватися:

- поліпшенням водовиддавальної здатності осадів (аеробна стабілізація, теплова обробка, введення вапна);
- істотним скороченням обсягу (фільтрування, випаровування вологи);
- отриманням пробкових продуктів (метану при анаеробному зброджуванні);
- частковим або повним знешкодженням (обробка вапном та хімічними речовинами, зброджування, термічна обробка);
- поліпшенням добривних властивостей (обробка вапном, аміаком та ін.)

Ефект стабілізації осадів із запобіганням поширення запаху досягається обробкою їх вапном при $\text{pH} = 10,2 \div 11$. Введення в осад

вапна істотно уповільнює біологічні процеси розпаду органічної речовини, скорочує вміст в осадах санітарно-показникових мікроорганізмів і покращує їх водовіддачу. При введенні в осади негашеного вапна разом з підвищенням величини рН зростає температура (в залежності від прийнятої дози) до 60° С і вище, що забезпечує дегельмінтизацію осадів.

Обробка сирого осаду шляхом коагуляції його вапном і подальшим зневоднення призводить за умови активної реакції середовища (рН \geq 11) до різкого зниження вмісту санітарно-показникових організмів – кишкової палички і ентерокока.

Зазначена реакція рН \geq 11 досягається при дозі вапна (у перерахунку на активну її частину СаО) більше 10% маси сухої речовини осаду. При зберіганні прокоагульованого і зневодненого осаду порівняно швидко (для кишкової палички 7 – 17 діб, для ентерокока – 2 – 6 діб) починається реактивація санітарно-показових організмів, тобто збільшення їх вмісту в осаді. Проте зважаючи на атиповість кишкової палички, в процесі реактивації навряд чи можна побоюватися збереження життєздатності, а тим більше вірулентності патогенних мікробів. При тривалому зберіганні осаду (до 6 міс.) вміст санітарно-показових організмів знову починає знижуватися. [2-4]

Дослідами, проведеними в США, показано, що повна стабілізація осадів досягається введенням в них вапна в кількості 12 – 30% активної частини маси сухої речовини в залежності від типу, концентрації та складу осадів. Ефективне застосування вапна відбувається в поєднанні з іншими процесами, наприклад, анаеробним або аеробним зброджуванням, механічним зневодненням, термічною обробкою і т. п. При введенні в осади негашеного вапна з доведенням рН = 12 поряд зі стабілізацією осадів досягається практично повне їх знезараження та знешкодження при витримці протягом 30 хв.

3.2. Зброджування осаду в метантенках

Зброджування – процес мінералізації органічної речовини – застосовується для стабілізації осадів, запобігання їх загнивання і отримання біогазу. При зброджуванні в анаеробних умовах органічна речовина розпадається з утворенням основних кінцевих продуктів – метану (СН₄) і двоокису вуглецю (СО₂). Умовно прийнято, що розпад відбувається у дві фази: 1) гідроліз складних органічних речовин, в результаті якого утворюються жирні кислоти, спирти, альдегіди та ін.; 2) перетворення цих проміжних речовин в метан, вуглекислоту, а також дикарбонатні і карбонатні солі.

Так як кожен органічний компонент дає різну кількість газу, а склад осадів різних міст різний, то отже, від кожного осаду буде отримано різну

кількість газу. Гази в основному утворюються з вуглеводів, жирів і білків, які складають 80 – 85% загальної кількості органічної речовини осадів. Найбільша кількість газів утворюється при розпаді жирів.

Теоретично розпад беззольної речовини і вихід газу можна визначити за відомими формулами. Фактичний розпад беззольної речовини і вихід газу в більшій мірі залежать від хімічного складу збродженого осаду. Процес збродження залежить від температури, дози завантаження і вологості осаду, між якими існує пряmlinійна залежність, що зберігається до певних доз завантаження.

При збродженні осадів розпад органічної речовини складає 25 – 53%, відповідно зменшується кількість сухої речовини осадів (до 30%) і підвищується їх вологість (на 1,4 – 1,6%).

Анаеробні процеси збродження осадів порушуються внаслідок збільшення добової дози завантаження, зміни температурного режиму і надходження з осадами токсичних речовин: іонів важких металів, сполук миш'яку, міді, хрому та ін., а також органічних сполук, які важко піддаються біохімічному розкладу. Зокрема, застосування населенням і промисловістю синтетичних миючих засобів викликає зниження виділення газу, навіть при роботі метантенків з невисокими дозами завантаження. Вихід газу в залежності від хімічного складу збродженої суміші осаду і активного мулу може коливатися від 5 (а іноді і нижче) до 20 м³ на 1 м³ суміші.

В активному мулі більше азотовмісних та фосфоровмісних речовин, але менше вуглеводів і жирових речовин у порівнянні з осадом з первинних відстійників. Тому при його збродженні вихід газу нижче, ніж при збродженні осаду первинних відстійників. Наприклад, досліди, проведені на Курьянівській станції аерації, показали, що при збродженні суміші вихід газу склав 11,5 – 13,2 м³ на 1 м³ суміші (570 л на 1 кг беззольної речовини); при збродженні одного осаду з первинних відстійників він досягав 22 м³, а одного активного мулу знижувався до 6,1 м³.

При збродженні в термофільних умовах на Люберецькій станції аерації (м. Москва) осаду з первинних відстійників вологістю 94% і зольністю 30,5% у суміші з ущільненим надлишковим активним мулом вологістю 97,5% і зольністю 27,6% при дозі завантаження 14% за обсягом розпад беззольної речовини становив 46,5%, а вихід біогазу 0,4 м³ з 1 кг беззольної речовини або 11,3 м³ з 1 м³ завантаженої суміші.

Процес збродження характеризується складом і об'ємом газу, що виділяється, лужністю мулової води і відсотком розпаду органічних речовин осаду. Газ має наступний склад, %: метан – 60 – 70, двоокис вуглецю – 16 – 34, азот – 0 – 3, водень – 0 – 3, кисень – 0,4, окис вуглецю – 2 – 4. При нормально проходженні процесу метанового збродження

мулова вода має рН > 7 і лужність 65 – 90 мг·екв/л, вміст амонійного азоту становить 400 – 820 мг/л і жирних кислот до 4 – 10 мг·екв/л. Обидва режими зброджування осадів – мезофільний (33° С) і термофільний (53° С) – отримали досить широке застосування. Останній має переваги в санітарному відношенні, так як забезпечує дегельмінтизацію осаду. Крім того, оскільки дози завантаження при термофільному режимі приблизно в 2 рази більше, ніж при мезофільному, то з'являється можливість скоротити об'єми метантенків, а отже, і капітальні витрати на їх будівництво.

Вітчизняна практика показала, що зброджування в термофільних умовах вимагає великої витрати тепла, яке на станціях аерації при наявності активного мулу в ряді випадків не покривається за рахунок газу, що виділяється при зброджуванні суміші. Крім того, осади, зброжені в термофільних умовах, значно гірше віддають воду і вимагають більш глибокої підготовки до механічного зневоднення, ніж осади, зброжені в мезофільних умовах. Це основні причини, в результаті яких процес термофільного зброджування осадів не отримав практичного застосування на зарубіжних очисних станціях. У нашій країні застосування термофільного процесу зброджування осадів обумовлено вимогами санітарних органів по дегельмінтизації.

Газ з метантенків виділяється нерівномірно, тому для його збору, зберігання і подальшого використання застосовуються газгольдери. Теплотворна здатність газу в середньому складає 21 МДж/м³. Теплотвірна здатність газу при термофільному зброджуванні на 2 – 5% нижче, ніж при мезофільному. Зброджувані осади підігріваються за допомогою теплообмінників або шляхом введення пари через пароструминні інжектори. Витрата тепла на підігрівання вмісту метантенків залежить від режиму зброджування, конструкцій і об'ємів метантенків, тепловтрат, типу зброджуваного осаду і його температури.

Розроблені і використовуються типові проекти метантенків в металевому вигляді діаметрами 11,4; 15,2; 19 і 22,9 м, заввишки 9; 12; 15 і 18 м, об'ємами відповідно 1100; 2500; 5000 і 9000 м³. У комплекс із двох або чотирьох метантенків входять інжекторна, насосна станція, газозбірний і диспетчерський пункти. Перемішування вмісту метантенків здійснюється за допомогою інжекторів під час подачі пари та циркуляційних насосів.

Використання біогазу зменшує забруднення повітряного середовища і забезпечує скорочення підприємствами з очищення стічних вод споживання палива і енергії від міських тепло- і електростанцій. Для отримання пари біогаз спалюється в котельнях на станціях аерації. На Московських станціях аерації біогаз використовують для отримання пари і гарячої води.

Газ з метантенків (тиском до 3000 Па) надходить у газорозподільний пункт (ГРП), звідти в пункт управління газгольдера, потім у газгольдер і котельню, а також до пункту управління факельної установки. Кожен ГРП об'єднує групу метантенків. У ньому здійснюється: збір та облік газу від кожного метантенка, відділення вологи і збір конденсату.

При аварійних ситуаціях газ надходить з пункту управління газгольдерів в пункт управління факельної установкою, а з нього до факельної установки на спалювання. Газопальникові пристрої, працюють як на природному газі, так і на біогазі та мазуті.

Для мезофільного режиму зброджування питома витрата гострої пари коливається від 25 до 40 кг на 1 м³ осаду, а для термофільного – від 50 до 70 кг. Тому при виході газу менше 10 м³ на 1 м³ осаду при термофільному режимі і 5 м³ на 1 м³ осаду при мезофільному режимі баланс тепла виходить негативним; при виході газу менше 5 м³ на 1 м³ осаду зброджування практично припиняється.

З урахуванням техніко-економічних показників мезофільне зброджування осадів в метантенках є економічно доцільним для середніх і великих станцій аерації. У цьому випадку при раціональному використанні газу можна не тільки забезпечити процес зброджування осаду, а й покрити частину енергетичних затрат станції (наприклад, потреба в теплі для знешкодження осаду або його термічного сушіння після зневоднення).

Однак за кордоном (в ФРН, Польщі, Фінляндії, Англії, Франції, США, Китаї та інших країнах) є підприємства з очищення стічних вод, де експлуатуються метантенки навіть на станціях аерації невеликої пропускної спроможності. За останні роки використання біогазу безперервно зростає: в котельнях або нагрівачах для отримання пари і гарячої води, в стаціонарних газових двигунах (газогенераторах) для отримання електроенергії з рекуперацією тепла; в технологічних процесах термосушіння і спалювання осадів та ін.

Для скорочення витрати тепла в деяких випадках застосовується згущення осадів перед зброджуванням, підігрів осадів в теплообмінниках осадом, випущеним з метантенків, або топковими газами в автономних нагрівачах, використовуваних замість котелень.

З метою інтенсифікації процесу зброджування осадів здійснюють рециркуляцію газу під тиском, введення в метантенки біогенних добавок або двоокису вуглецю. У західноєвропейських країнах для скорочення об'єму осадів та поліпшення їх водовіддачі на ряді станцій застосовується двоступеневе зброджування осадів. На першому ступені осад зброджується в мезофільних умовах; на другому ступені ємність або відкритий резервуар без підігріву працюють з низькими дозами завантаження, що призводить до ущільнення осадів і дозволяє видалити з них частину мулової води.

Процеси бродіння часто гальмуються внаслідок наявності в осадах токсичних елементів, що призводить до різкого зменшення газовиділення і подорожчання процесу зброджування. Метод метанового бродіння осадів дуже чутливий до перевантажень. Вологість осадів при зброджуванні збільшується, проте об'єми їх, незважаючи на деяке зниження твердої фази, практично не знижуються, а водовіддача у зв'язку із збільшенням дрібнодисперсних і колоїдних частинок суттєво погіршується.

Осад, зброджений в мезофільних умовах, підсихає на мулових майданчиках в середньому в 1,5 рази швидше, ніж зброджений в термофільних умовах. Але навіть у цьому випадку потрібні великі площі для будівництва мулових майданчиків. Трубопроводи та металеві ємності в зв'язку з підвищеною вологістю газу повинні бути захищені від корозії.

Суміш газу з повітрям вибухонебезпечна, тому метантенки та їх обладнання повинні виготовлятися з вибухотривких матеріалів, а при веденні робіт повинні суворо дотримуватися заходи з техніки безпеки.

Метод метанового бродіння осадів, що отримав поширення, вимагає значних капітальних витрат і технічно складний в практичному здійсненні. Тому доцільність зброджування осадів повинна вирішуватися з урахуванням як властивостей осадів, так і техніко-економічних показників при обов'язковій утилізації біогазу.

3.3 Споруди анаеробного зброджування

Зброджування (мінералізація) органічної речовини осадів в анаеробних умовах може проводитися в двох'ярусних відстійниках, освітлювачах – метантенках.

Метантенки застосовуються для анаеробного зброджування осадів міських стічних вод на великих станціях очищення (табл. 3.1). Умовно прийнято, що розпад органічних речовин відбувається у дві фази:

- 1) гідроліз складних органічних речовин з утворенням жирних кислот, спиртів, альдегідів та ін;
- 2) перетворення цих проміжних речовин в метан, вуглекислоту, а також двокарбонатний і карбонатні солі.

Таблиця 3.1. Класифікація метантенків по температурі зброджування

Назва режиму	Температура, °C	Умови застосування і характеристики
Одноступінчаті		
Психрофільні (без підігріву)	10...15	У районах із середньомісячною температурою повітря найхолоднішого місяця не нижче – 5 °C

Мезофільний	33	Економічно доцільно при виході газу більше 10 м^3 на 1 м^3 зброджуваного осаду; потрібна додаткова дегельмінтизація осаду; малий питомий опір збродженого осаду
Термофільний	53	Велика витрата тепла; будівельна вартість менша, ніж при мезофільному режимі; забезпечується дегельмінтизація осаду; великий питомий опір збродженого осаду
Двуступінчасті		
I ступінь – мезофільний	33	У районах із середньорічною температурою повітря не нижче 6°C ; зниження обсягу і вологості збродженого осаду
II ступінь – без підігріву	10...15	

Об'єм метантенків $V, \text{ м}^3$, визначається в залежності від вологості осаду $p_{\text{mud}}, \%$, по добовій дозі завантаження $D_{\text{mt}}, \%$:

$$V = M_{\text{зар}} \cdot 100 / D_{\text{mt}}, \quad (3.1)$$

де $M_{\text{общ}}$ – кількість осадів, що надходять за 1 добу в метантенки, м^3 .

Розпад беззольної речовини осаду $R_r, \%$, залежно від дози завантаження

$$R_r = R_{\text{lim}} - k_r \cdot D_{\text{mt}}, \quad (3.2)$$

де R_{lim} – максимально можливе збродження беззольної речовини осаду, $\%$; k_r – коефіцієнт, що залежить від вологості осаду (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 Максимальна добова доза осаду міських стічних вод і значення коефіцієнта k_r

Режим збродження	Вологість завантаженого осаду, %				
	93	94	95	96	97
Добова доза завантаження $D_{\text{mt}}, \%$					
Мезофільний	7	8	8	9	10
Термофільний	14	16	17	18	19
Коефіцієнт k_r					
Мезофільний	1,05	0,89	0,72	0,56	0,40
Термофільний	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

Примітка: При наявності в стічних водах поверхнево-активних речовин більше 5 мг/л добова доза завантаження підлягає уточненню.

Максимально можливе збродження беззольної речовини завантаженого осаду R_{lim} , %:

$$R_{lim} = (0,92C_{fat} + 0,62C_{gt} + 0,34C_{prt})100, \quad (3.3)$$

де C_{fat} C_{gt} C_{prt} – відповідно вміст жирів, вуглеводів і білків (г) на 1 г беззольної речовини осаду.

При відсутності даних про хімічний склад осаду приймають для осадів R_{lim} приймають для осадів з первинних відстійників 53%, для надлишкового активного мулу 44%, для суміші осадів з середньоарифметичним відношенням змішуються компоненти за беззольною речовиною.

Вагова кількість, щільність і склад газу, одержуваного при збродженні, приймаються за табл. 3.3, а при відсутності даних про газоутворюючі елементи 1 г на 1 г беззольної речовини яка розпалася завантаженого осаду, густина газу 1 кг/ м³ теплотворна здатність газу 21 МДж/ м³.

Таблиця 3.3. Вихід газу з 1 г різних органічних речовин

Газоутворюючі елементи	Вихід газу на 1 г речовини		Склад газу, %		Середня густина при 20°C, кг/ м ³
	л	г	CH ₄	CO ₂	
Жири	1,25	1,41	68	32	1,05
Вуглеводи	0,79	1,06	50	50	1,25
Білки	0,704	0,76	71	29	1,01

Конструкції метантенків наведені на рис. 3.1 і рис. 3.2; розміри приведені в табл. 3.4. В Україні застосовуються в основному метантенки з незатопленим нерухомим перекриттям. Круглі в плані резервуари метантенків виготовляють із залізобетону або сталі з внутрішнім антикорозійним покриттям. Число метантенків повинно бути не менше двох, при цьому резервних ємностей не передбачають.

Таблиця 3.4. Конструктивні розміри метантенків

Номер проекту	D, м	Корисний об'єм, 1 м ³ .	Висота, м			Будівельний об'єм, м ³	
			Верхній конус H _{вк}	Циліндрично і частини H _ц	Нижнього конуса H _{нк}	будівлі обслуговування	Газовий кіос
902-5-38.87	12,3	1000	1,9	9,6	2,15	652	100

902-5-39.87	14,0	1600	2,35	11,8	2,6	2035	112
902-5-40.87	16,6	2500	2,5	12,5	3,05	2094	136
902-5-41.87	19,2	4000	2,9	14,7	3,5	2520	174
Ново- Курьянівська станція	18,0	6000	3,15	18,0	3,5	2700	170
Люберецька станція	22,4	8000	4,45	16,3	3,7	2000	170
902-5-18.86	22,75	9000	4,52	17,88	3,62	–	–

Резервуари розраховують на надлишковий тиск газу 5 кПа. Розташування статичного рівня осаду на 0,2–0,3 м вище основи горловини, а верха горловини – на 1,0–1,5 м вище динамічного рівня осаду. Площа газозбірної горловини визначається з умови пропуску 600 ... 800 м³ газу на 1 м²/добу. Перемішувальні пристрої (механічні змішувачі, насоси) повинні забезпечити пропуск всього обсягу збродженої маси протягом 5–10 год. Для перемішування використовується також газ.

Підігрів зброджених осадів здійснюється шляхом введення в метантенк пару через пароструминні інжектори або за допомогою внутрішніх або зовнішніх теплообмінників. Питома витрата гострої пари для мезофільного процесу 25–40 кг/м³ осаду, для термофільного процесу 50–70 кг/м³.

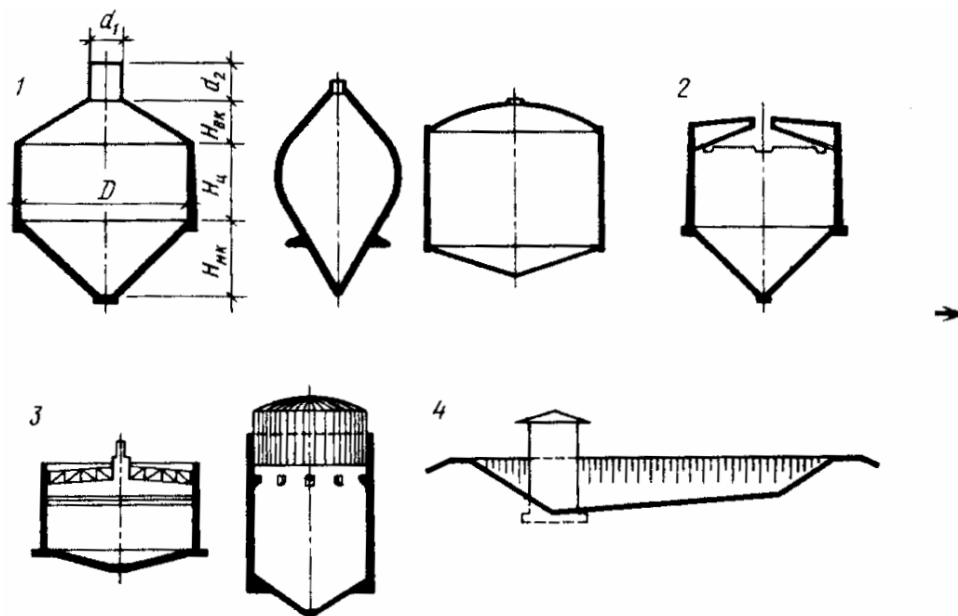


Рис. 3.1. Конструкції метантенків:

1 - з нерухомим незатопленим перекриттям; 2 - з нерухомим затопленим перекриттям; 3 - з рухомим (плаваючим перекриттям); 4 - відкриття.

При проектуванні метантенків передбачають заходи по вибухопожежобезпеці обладнання та обслуговуючих приміщень.

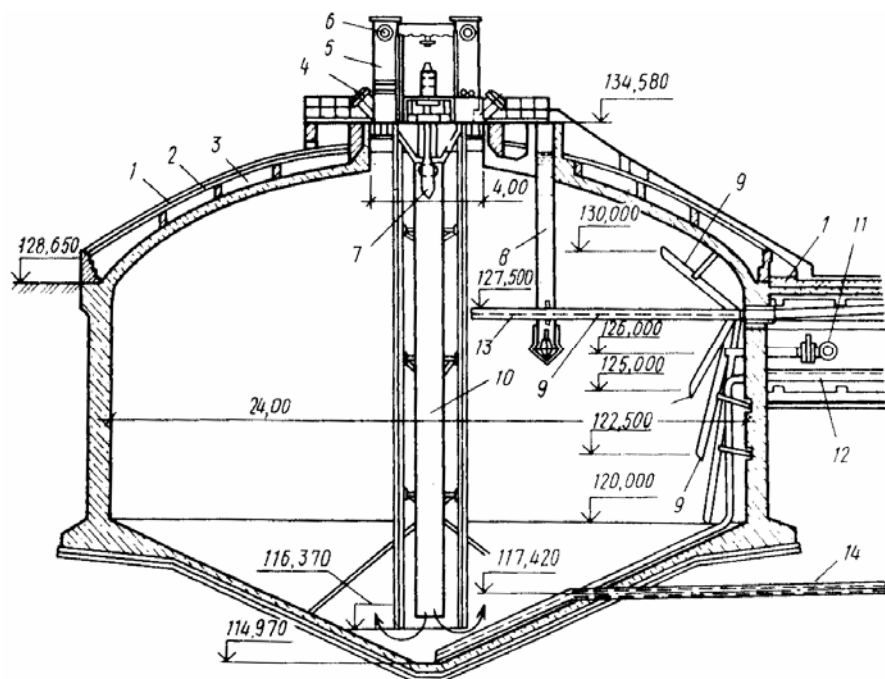


Рис. 3.2. Схема метантенка Ново-Курьянівської станції аерації ($V = 5200 \text{ м}^3$): 1 - бітумна оболонка; 2 - клінкерна вкладка; 3 - теплоізоляція; 4 - контрольний люк; 5 - газозбірна горловина; 6 - труба для відводу газу; 7 - механічний змішувач; 8 - переливна труба; 9 - випуск осаду з різних рівнів; 10 - направляючі труби для циркуляції основної суміші; 11 - трубопровід для подачі пару на обігрів; 12 - труба випуску зброженого осаду; 13 - труба подачі осаду; 14 - труба для спорожнення метантенку.

Газ, одержуваний у результаті зброджування осадів в метантенках, використовують в теплоенергетичному господарстві очисної станції. Трубопроводи газу повинні бути захищені від корозії.

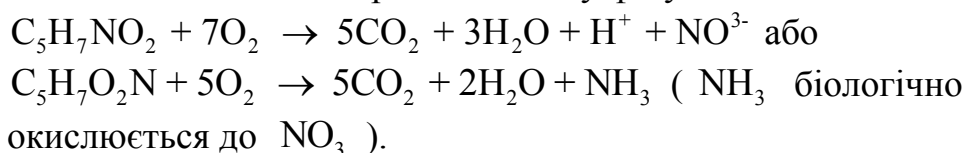
Для регулювання тиску і зберігання газу передбачаються мокрі газгольдери (табл. 3.5), ємність яких розраховують на 2...6-годинний вихід газу. Тиск під ковпаком 1,5-4,0 кПа. Відстань від газгольдера до котельні і інших приміщень має бути не менше 30 м.

Таблиця 3.5. Основні дані газгольдерів

Об'єм газгольдера, м^3	Внутрішній діаметр, м		Висота, м			Витрати металу, т
	резервуар	Колокол	Газгольдер	Резервуар	Колокол	
100	7,40	6,60	7,45	3,45	3,40	14
300	9,30	8,50	12,50	5,92	6,88	25
600	11,48	10,68	15,40	7,39	7,61	41,4
1000	14,50	13,70	15,40	7,39	7,61	53
3000	21,05	20,10	20,10	9,80	9,90	126
6000	26,90	24,20	24,20	11,75	12,05	192

3.4. Аеробна стабілізація осаду

На вітчизняних і зарубіжних станціях аерації отримують застосовують процес аеробної стабілізації осадів. Аеробна стабілізація – процес окислення органічної речовини мікроорганізмами (аеробами) в присутності кисню повітря. На відміну від анаеробного зброджування аеробна стабілізація осадів протікає в одну фазу :



Процес аеробної стабілізації осадів подібний до процесу очищення стічних вод в аеротенках за допомогою активного мулу, який інтенсивно росте, розвивається за рахунок наявного поживного субстрату, а потім самоокислюється, після чого утворюється один вид осаду.

Тривалість аеробної стабілізації активного мулу пов'язана з часом його аерації в аеротенках, тобто з віком мулу: чим останній більше, тим коротший період стабілізації і менше швидкість споживання кисню і навпаки. Тривалість стабілізації суміші мулу з осадом з первинних відстійників в значній мірі залежить від кількості внесеного з осадом субстрату, а також внутрішньоклітинного поживного субстрату і ступеня їх розпаду. Процес продовжується до тих пір, поки є живильний субстрат.

Розпад беззольної речовини коливається залежно від складу і властивостей осадів в межах 5 – 50%, при цьому жири розпадаються на 65 – 75% і білки на 20 – 30%. Вміст вуглеводів не зменшується, що, мабуть, пов'язано з утворенням полісахаридів в клітинах мікроорганізмів, яке відбувається одночасно з розпадом позаклітинних вуглеводів.

Ефективність і тривалість процесу залежать також від співвідношення осаду і активного мулу, кількості та концентрації органічних речовин, інтенсивності аерації, температури і необхідного технологічного ефекту (максимальне підвищення зольності, поліпшення водовіддачі і т. п.).

На життєдіяльність мікроорганізмів (аеробів) так само, як і на процес метанового зброджування, чинять вплив мікроелементи, які містяться в стічних водах, солі важких металів і токсичні хімічні сполуки.

Американські фахівці вважають, що процес аеробної стабілізації може здійснюватися як в мезофільній зоні (при температурі 10 – 42°C), так і в термофільній (близько 42°C). Процес аеробної стабілізації припиняється при температурі нижче 8°C. При високих температурах відбувається згорання білка і загибель активного мулу, тому термофільний режим можливий при вирощуванні специфічних мікроорганізмів.

Для аеробної стабілізації можуть використовуватися будь-які ємнісні споруди, збудовані на станціях аерації, наприклад, переобладнані відстійники, ущільнювачі, аеротенки н т. п. Як правило, аеробна стабілізація осадів здійснюється у відкритих спорудах типу аеротенків з переважною висотою 3 – 5 м. Використання інших ємностей може призвести до погіршення ефективності процесу і збільшення витрати електроенергії.

Рекомендації різних авторів щодо параметрів процесу багато в чому збігаються і зводяться до наступного:

- аеробній стабілізації можуть бути переданий неущільнений і ущільнений (не більше 6 год) надлишковий активний мул, сирий осад первинних відстійників та їх суміші;

- технологічний ефект щодо стабілізації близький фактично досягнутому при анаеробному зброджуванні осадів;

- розпад беззольної речовини залежить від тривалості аерації і в основному завершується для неущільненого мулу за 7 – 10 діб, для суміші осаду і ущільненого активного мулу за 10 – 15 діб (при температурі 20° С). Ступінь розпаду можна збільшити шляхом підвищення температури процесу стабілізації та введенням в стабілізатори біогенних добавок. Однак доцільність значного підвищення температури в результаті проведених експериментів не підтверджується. При зниженні температури суміші з 20 до 8° С період стабілізації збільшується в 2 – 2,5 рази, а водовіддача погіршується;

- витрата повітря становить 1 – 2 м³ і більше на 1 м³ стабілізованого осаду за 1 год в залежності від його концентрації;

- відстоювання та ущільнення аеробно-стабілізованих осадів повинні проводитися протягом 1,5 – 5 год в спеціально виділеній відстійній зоні, що влаштовується всередині аераційної споруди або у відстійниках. Для підвищення концентрації стабілізованого активного мулу або суміші його з осадом може передбачатися рециркуляція ущільненого мулу або суміші з ущільнювача в стабілізатор. Мулова вода повинна направлятися в аеротенки, її БСК₅ може становити близько 100 мг/л, а ХСК – 360 – 670 мг/л. Після відстоювання та ущільнення вологість мулу коливається від 95 до 98,5%.

Процес аеробної стабілізації приводить до скорочення патогенної мікрофлори. В залежності від тривалості аерації і режиму роботи стабілізаторів зниження вмісту кишкових паличок становить 70 – 99%, спостерігається також інактивація вірусів. Однією з можливих причин загибелі патогенних бактерій є високе значення ϵh -потенціалу (200 – 700 мВ) процесу, в той час як оптимальним для їх розвитку є негативний ϵh -потенціал (– 200 мВ). Однак при цьому яйця гельмінтів не гинуть, тому використання стабілізованих осадів на добриво можливо після їх дегельмінтизації.

Крім складу та властивостей, на водовідвідну здатність стабілізованих осадів впливають: тривалість регенерації і ступінь ущільнення вихідного активного мулу; період процесу стабілізації; тривалість ущільнення стабілізованого осаду; співвідношення осаду і активного мулу в суміші; ефективність змішування та інші фактори, пов'язані з експлуатацією споруд.

При аеробній стабілізації швидкість споживання кисню залежить від віку активного мулу і температури: чим вища температура і чим менше вік мулу, тим вище швидкість споживання кисню повітря, що подається.

Контроль за процесом стабілізації можна вести по окисно-відновлювального потенціалу, дегідрогеназній активності, зольності, швидкості споживання кисню. Чим довший процес, тим краще осад стабілізується, тобто подовжується період запобігання загниванню і збільшується бактерицидний ефект. Однак для скорочення витрати повітря, а отже і електроенергії, доцільно процес аерації обмежувати і вести його по стадії початку загасання, так як тривала аерація, особливо в період самоокиснення, призводить до роздрібнення частинок осадів та погіршення їх водовіддачі. Тому для поліпшення водовіддачі при механічному зневодненні необхідно вести контроль за питомим опором мулу. При мінімальних значеннях питомого опору стабілізація буде неповною, тому при підсушуванні на мулових майданчиках може відбутися загнивання осаду і погіршення його водовіддачі.

При відстоюванні стабілізованого осаду протягом 1 – 2 діб тверда фаза може спливати, а потім повторно поступово осідати, тому мулові майданчики доцільно влаштовувати з дренажем і поверхневим відведенням мулової води.

На рис. 3.3 наведена схема очищення стічних вод з аеробною стабілізацією осаду з первинних відстійників і активного мулу. На станціях пропускною здатністю до 1400 м³/добу доцільно застосовувати аеротенки з продовженою аерацією, без первинного відстоювання. У цьому випадку очищена стічна рідина буде містити до 30 мг/л завислих речовин, але істотно спроститься технологія очистки стічних вод та обробки осадів в результаті виключення первинних відстійників, аеробного стабілізатора і ущільнювача.

Надлишковий активний мул для обробки направляється безпосередньо на мулові майданчики. Для станції аерації більшої пропускної спроможності найбільш ефективною може виявитися технологічна схема з аеробною стабілізацією суміші осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу в окремих спорудах. При цьому для зменшення обсягу суміш осаду і надлишкового активного мулу рекомендується отримувати безпосередньо з первинних відстійників. З цією метою в стічну воду перед первинними відстійниками подається така частина активного мулу, яка дозволяє виділити надлишковий активний

мул безпосередньо в первинних відстійниках; при цьому активний мул, який виноситься, компенсує недостачу циркулюючого мулу. Кількість активного мулу, що подається в стічну воду, залежить від швидкості осідання активного мулу, його надмірної кількості і тривалості відстоювання в первинних відстійниках. Зазвичай воно може прийматися в 1,5 – 2 рази більшим за кількість надлишкового активного мулу при освітленні в первинному відстійнику протягом 1 год.

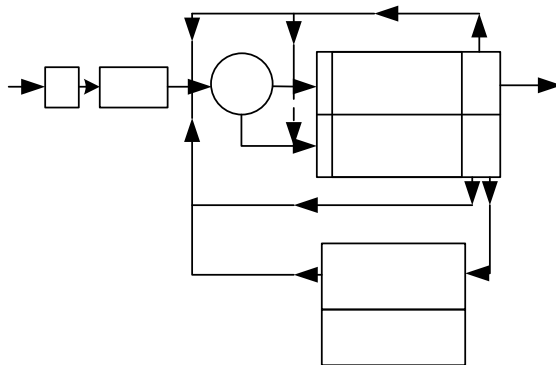


Рис. 3.3. Технологічна схема очищення стічних вод з аеробною стабілізацією осаду та активного мулу: 1 – подача стічної рідини; 2 – решітки; 3 – пісковловлювачі; 4 – первинний відстійник; 5 – подача активного мулу; 6 – аеротенк; 7 – вторинний відстійник; 8 – відвід очищеної води; 9 – подача надлишкового активного мулу; 10 – аеробний стабілізатор; 11 – ущільнювач; 12 – подача ущільненої суміші на мулові площадки; 13 – відвід стічної води на очисні споруди; 14 – відвід дренажної мулової води на очисні споруди; 15 – мулові площадки; 16 – компостувальна площадка.

Освітлена в первинному відстійнику суміш осаду і надлишкового активного мулу з первинних відстійників подається в аеробний стабілізатор. Після аеробної стабілізації протягом 5 – 8 діб суміш ущільнюється в ущільнювачі протягом 1,5 – 2 год і подається на мулові майданчики. Після підсушування суміш компостується в буртах протягом 2 – 3 міс.

Навантаження на мулові майданчики, які мають штучну основу з дренажем, при вологості мулу 97% і більше може становити до 4 т/(м²·год). Зливна вода з ущільнювача і дренажна вода від мулових майданчиків з вмістом 200 – 400 мг/л завислих речовин направляються на очисні споруди.

3.5. Споруди аеробної стабілізації

Метод аеробної стабілізації полягає в тривалій аерації не ущільненого або ущільненого надлишкового активного мулу, а також суміші його з сирим осадом в спорудах типу аеротенків (стабілізаторах).

Аеробна стабілізація застосовується на очисних станціях пропускною здатністю до 50000 м³/добу за технологічними схемами, наведеними на рис. 3.4. Схеми 1а і 1б застосовуються на спорудах без первинних відстійників, схема 2 при роздільній або спільній обробці сирого осаду і ущільненого надлишкового активного мулу, схема 3 – при спільній обробці сирого осаду і не ущільненого активного мулу, схеми 4, 5 – при використанні центрифуг для механічного зневоднення стабілізованого осаду.

Основними розрахунковими параметрами процесу є тривалість стабілізації (t , діб) і витрата повітря (D , м³/м³).

Для стабілізації активного мулу в стабілізаторі (реакторі-витискувачі) потрібен час

$$t_{\text{вит}} = [(8 \dots 10) + 0,02(20 - T_a)(\tau + 5)] 1,08^{20 - T_c} \quad (3.4)$$

де T_a , T_c – розрахункова температура в аеротенку і стабілізаторі (приймається в межах 8–35°C); τ – вік мулу, доба.

Питома витрата кисню для аерації (q , кг О₂/кг органічних речовин мулу):

$$q = (0,96 + 0,016 \tau) / (1 + 0,108 \tau) \quad (3.5)$$

Витрата повітря для аерації визначається аналогічно аеротенкам:

$$D = 1000 q s_0 / K_1 K_2 K_T K_3 (C_p - C) \quad (3.6)$$

де s_0 – концентрація беззольної речовини що надходить на стабілізацію мулу, кг/м³; C – концентрація кисню в стабілізаторі, 1–2 мг/л; значення решти коефіцієнтів визначають як для аеротенків. Інтенсивність аерації повинна бути не менше 6 м³/м²·год.

При стабілізації суміші осаду з первинних відстійників (сирого осаду) і активного мулу параметри t і q розраховують за формулами:

$$t_c = t_{\text{мул}} + 2B \quad (3.7)$$

$$q_c = q_{\text{мул}} (1 + 0,4B \tau) \quad (3.8)$$

де t_c , $t_{\text{мул}}$ – період стабілізації суміші активного мулу, добу, обчислюється за формулою 3.4); q_c , $q_{\text{мул}}$ – питома кількість кисню для суміші і для мулу, кг О₂/кг В_з, що обчислюється за формулою (3.5); B – відношення беззольний речовини осаду до беззольної речовини суміші.

Для аеробної стабілізації передбачають спорудження типу коридорних аеротенків.

Ущільнення аеробно-стабілізованого осаду проводиться або в окремо розташованих ущільнювачах, або в спеціально виділеній зоні всередині стабілізатора не більше 5 годин. Вологість ущільненого осаду 96,5...98,5%. Мулова вода з ущільнювачів направляється в аеротенки. Її забруднення слід приймати: по БСК_{повн} – 200 мг/л, ХСК – 350–700 мг/л, завислих речовин – до 100 мг/л.

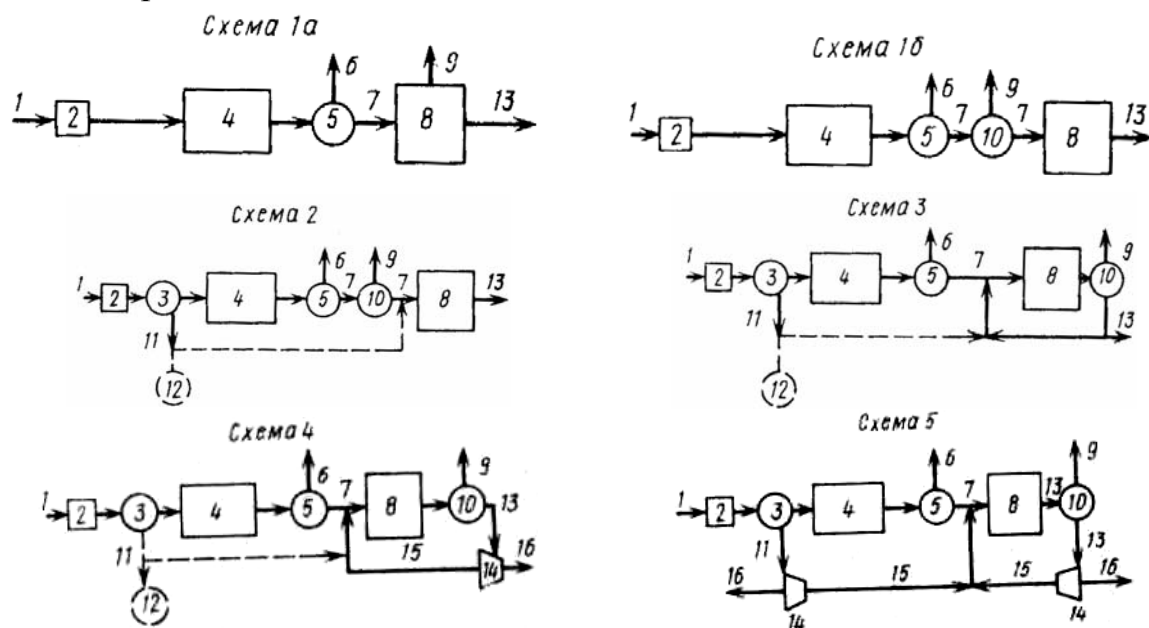


Рис. 3.4. Схема процесу аеробної стабілізації вод:

1 - подача стічної води; 2 - решітка; 3 - первинний відстійник; 4 - аеротенк; 5 - вторинний відстійник; 6 - очищений стік; 7 - понаднормовий активний мул; 8 - стабілізатор; 9 - мулова вода; 10 - ущільнювач; 11 - осад з первинного відстійника; 12 - метантенк; 13 - стабілізований осад; 14 - центрифуга; 15 - фугат; 16 - зневоднений осад.

На аеробну стабілізацію може подаватися також неуцільнений надлишковий активний мул або суміш його з осадом з первинних відстійників. У цьому випадку для зменшення обсягу аеробного стабілізатора всередині його передбачається зона осадження, що працює за принципом зваженого шару зі скиданням зливної води перед первинними відстійниками. При наявності такої зони концентрація суміші всередині стабілізатора може прийматися рівною 15 – 20 г/л.

На очисних спорудах пропускною здатністю більше 5 тис. м³/добу замість мулових майданчиків для зневоднення стабілізованої суміші можуть застосовуватися центрифуги, а замість компостування – камери дегельмінтизації або сушарки для знезараження і термічного сушіння зневодненого осаду. Центрифугування може здійснюватися за

безреагентною схемою зі скиданням фугату в аеробний стабілізатор. Така схема застосована на станціях аерації міст Новоросійськ, Істра, Сочі та ін.

Незважаючи на те, що при правильно відрегульованому процесі і відповідній якості вихідного осаду (низький питомий опір, підвищена зольність, наявність солей заліза і т. п.) питомий опір може знижуватися до $(20 \div 60) \cdot 10^{10}$ см/г, механічне зневоднення на барабанних вакуум-фільтрах та фільтр-пресах вимагає попередньої коагуляції осадів хімічними реагентами. Звичайно, у відповідності зі зниженням питомого опору потрібна доза реагентів значно знизиться, проте без застосування реагентів при зневодненні буде спостерігатися замулювання фільтрувальної тканини.

У табл. 3.6 наведено дані про вплив аеробної стабілізації на питомий опір, отримані в дослідях з осадами московських станцій аерації. Аеробностабілізований неущільнений активний мул і суміш його з осадом первинних відстійників володіють кращою водовіддачею у порівнянні з вихідними осадами. Стабілізація ж ущільненого активного мулу і його суміші з осадом первинних відстійників приводила до різкого збільшення питомих опорів, тому здійснення таких процесів є нераціональним.

Таблиця 3.6 Зміна питомого опору в процесі стабілізації осадів

Тип осаду	Вологість, %	Межа аерації, доба	Питомий опір, $г \cdot 10^{-10}$ см/г
Активний мул:			
неущільнений	99 – 99,7	До аерації 7 – 10	100 – 940 30 – 250
ущільнений	96,9 – 97,5	До аерації 8 – 12	800 – 1700 4000 – 6250
концентрований в стабілізаторі	98,0 – 98,6	6 – 7	40 – 200
Суміш осаду:			
первинних відстійників та активного не ущільненого мулу	98,5 – 99,2	До аерації 10 – 12	190 – 430
первинних відстійників та активного ущільненого мулу	95,5 – 97	До аерації 10 – 15	600 – 1200 2470 – 6720
первинних відстійників та активного мулу, концентрованого в стабілізаторі	98 – 98,5	6 – 10	40 – 200

Представляють інтерес дослідження, проведені на станції аерації з аеробної стабілізації суміші осаду первинних відстійників і активного мулу в зимовий час. Тривалість перебування суміші в стабілізаторі склала 10 діб. Температура зовнішнього повітря знижувалася до $-24^{\circ}C$, при цьому температура суміші знижувалася до $3^{\circ}C$. Щоб уникнути пониження температури в стабілізатор подавалася стічна вода з первинного відстійника, що дозволило здійснювати роботу в зимовий час без утеплення. У процесі стабілізації зольність суміші збільшувалася за період

з жовтня по лютий з 31,6 – 38,6 до 37 – 46,2%; розпад беззольної речовини, розрахований на основі цих даних, склав в середньому 30%.

На станції аерації м. Калініна в якості стабілізатора використовується один з аеротенків-змішувачів місткістю 24 тис. м³. Частина осаду з первинних відстійників (близько 1/3) подається в аеротенки для збільшення кількості органічних речовин, необхідних для живлення активного мулу. Інша частина осаду первинних відстійників і надлишковий активний мул з вторинних відстійників прямує в аеробний стабілізатор. Період стабілізації становить 15 – 20 діб. У процесі стабілізації дегідрогеназна активність знижується з 0,46 – 0,7 до 0,07 – 0,2 мг/г сухої речовини, рН знижується з 7,3 – 7,8 до 6,8 – 7, а ХСК в середньому з 7700 до 5300 мг/л. Питомий опір знижується в 2 – 2,5 рази. При аерації протягом 10 діб питомий опір і індекс центрифугування відповідно знижується з $3770 \cdot 10^{10}$ і 6,1 до $33,9 \cdot 10^{10}$ см/г і 5 см³/г, а потім знову поступово зростає, хоча зольність суміші продовжує збільшуватися.

На Саларській станції аерації у м. Ташкенті пропускною здатністю 580 тис. м³/добу проведені виробничі дослідження з аеробної стабілізації суміші осаду з первинних відстійників і активного мулу. Стічні води містять більше 50% виробничих, головним чином умовно чистих, вод і є слабкоконцентрованими (кількість завислих речовин складає в середньому 113 мг/л, БСК₅ = 65 ÷ 100 мг/л). Завдяки підвищеній зольності і вмісту солей заліза досягається висока ефективність освітлення води в первинних відстійниках. Аеротенки працюють з 50% зоною регенерації активного мулу. Внаслідок невеликого приросту активного мулу і тривалого періоду регенерації частина мулу знищується і починається приватне окислення активного мулу. У стабілізатор (рис. 3.5) подається нагрітий осад з первинних відстійників у кількості 1200 – 1500 м³/добу вологістю 97% і надлишковий активний мул з верхнього каналу аеротенків в кількості 1200 – 1300 м³/добу вологістю 98,8 – 99% (у приблизному співвідношенні 1:1 за об'ємом). Тривалість аерації становить 6 – 8 діб з інтенсивністю 2,5 м³/(м²·год) при температурі 23 – 27°C.

За даними лабораторії очисних споруд, питомий опір суміші знижується з $(638 \div 980) \cdot 10^{10}$ до $(15,4 \div 60) \cdot 10^{10}$ см/г. Вологість стабілізованого мулу складає 98,3 – 98,8%. Збільшення періоду аерації до 13 – 15 діб призводить до збільшення питомого опору до $(126 \div 320) \cdot 10^{10}$ см/г. При веденні процесу стабілізації без підігрівання осаду мінімум питомого опору досягається на 10 – 11 добу, а потім воно також поступово зростає. Ущільнення стабілізованого мулу підвищує його питомий опір. Для зменшення тривалості ущільнення в ущільнювач додається вода. На мулові майданчики зі штучною основою і дренажем подається неущільнений мул або мул, який розбавляється в процесі ущільнення.

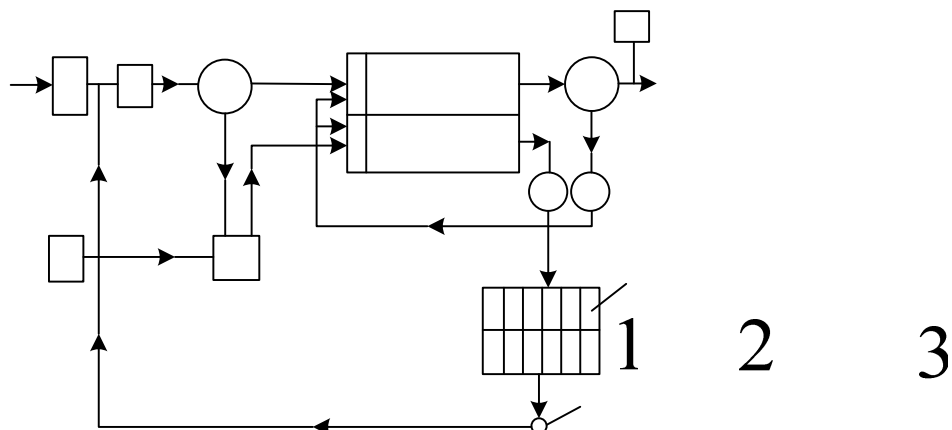


Рис. 3.5 Схема очисних споруд Саларської станції аерації: 1 – решітки; 2 – пісковловлювачі; 3 – первинні відстійники; 4 – аеротенки; 5 – аеробний стабілізатор; 6 – вторинні відстійники; 7 – хлорувальня; 8 – стій очищеної води; 9 – станція перекачування активного мулу; 10 – ущільнювач стабілізованої суміші; 11 – трубопровід активного мулу; 12 – подача стабілізованого мулу на мулові площадки; 13 – мулові площадки на штучній основі з дренажем; 14 – станція перекачування дренажної води; 15 – подача дренажної води на очищення; 16 – котельня; 17 – подача “гострої” пари; 18 – установка для нагріву осаду “гострою” паром; 19 – трубопровід сирого осаду; 20 – трубопровід подачі осаду в стабілізатор.

На очисних спорудах м. Кишинєва експлуатується два аеробних стабілізатора об’ємом по 24000 м^3 . Аеробній стабілізації піддається неущільнений активний мул вологістю 99,5% в суміші з осадом первинних відстійників вологістю 95% в кількості $3900 \text{ м}^3/\text{добу}$. Питомий опір суміші знижується з $(300 \div 400) \cdot 10^{10}$ до $(25 \div 60) \cdot 10^{10} \text{ см/г}$.

На очисних спорудах у м. Сочі аеробній стабілізації в чотирьох аеробних стабілізаторах об’ємом 2100 м^3 піддається надлишковий активний мул вологістю 99,3 – 99,6% і кількістю $250 - 450 \text{ м}^3/\text{добу}$. Після стабілізаторів мул ущільнюється до 98,7 – 98,5% вологості. Питомий опір активного мулу знижується з $(100 \div 200) \cdot 10^{10} \text{ см/г}$ до $(10 \div 50) \cdot 10^{10} \text{ см/г}$.

Запропонована модифікована схема аеробної стабілізації з підвищеною витратою повітря і скороченим періодом стабілізації, а також схеми з комбінованою анаеробно-аеробною обробкою. В одній з них зброджений в метантенках осад первинних відстійників з частиною надлишкового активного мулу направляють на аеробну стабілізацію спільно з іншою частиною (40 – 60%) надлишкового активного мулу; в іншій – надлишковий активний мул після аеробної стабілізації ущільнюють спільно з анаеробно збродженим осадом. Комбінована анаеробна обробка дозволяє підвищити ступінь розпаду органічних речовин, поліпшити водовіддавальну здатність осаду, скоротити тривалість аеробної стабілізації. Досліди показали, що навантаження на мулові майданчики на штучній основі з дренажем при вологості

стабілізованого мулу 97% і вище, відповідних кліматичних умовах і низьких значеннях питомого опору $(20 \div 60) \cdot 10^{10}$ см/г може становити до 3 – 5 м³/(м²·год) (за більш низької вологості навантаження відповідно зменшується). Для досягнення зазначеного завантаження необхідно:

- вести контроль аеробної стабілізації за питомим опором мулу;
- здійснювати процес мінералізації до стадії, що запобігає загниванню мулу;
- приймати мулові майданчики на штучній основі з дренажем і заміною при видаленні осаду верхнього шару піску щоб уникнути кольматації основи.

Проведені дослідження і практика роботи споруд свідчать про те, що в порівнянні з осадами, збродженими в метантенках, аеробно-стабілізовані осади у ряді випадків швидше підсихають на мулових майданчиках, а підготовка їх до механічного зневоднення простіша, ніж для осадів, зброджених в анаеробних умовах (відпадає необхідність промивки, скорочується витрата реагентів).

Однак, як показано вище, в процесі аеробної стабілізації не завжди можна домогтися істотного зниження питомого опору. Тому при проектуванні, коли важко визначити ефективність процесу аеробної стабілізації, доцільно навантаження на мулові майданчики, дозу реагентів і продуктивність апаратів при механічному зневодненні призначати з певним резервом. Це дозволить в процесі експлуатації підвищити рівень обробки осадів.

При зіставленні метантенків і аеробних стабілізаторів слід враховувати недоліки не тільки метантенків, але і аеробних стабілізаторів. Зокрема, при зброджуванні в термофільних умовах відбувається знезараження (дегельмінтизація) осадів, а після аеробної стабілізації для дегельмінтизації необхідна додаткова обробка осаду термічними або хімічними методами. При зброджуванні в метантенках в ряді випадків може бути отримана надлишкова теплота шляхом спалювання газу – метану, а при аеробній стабілізації потрібні додаткові витрати електроенергії на аерацію осаду повітрям. Для цього розроблені типові проекти аеробних стабілізаторів для станцій пропускною здатністю від 25 тис. до 100 тис. м³/добу.

Контрольні запитання

1. Дайте характеристику методам стабілізації осадів стічних вод.
2. Опишіть технологічні процеси зброджування осаду в метантенках.
3. Дайте характеристику споруд анаеробного зброджування осадів стічних вод.
4. Опишіть технологічні процеси аеробної стабілізації осаду.
5. Дайте характеристику споруд аеробної стабілізації осадів стічних вод.

Розділ 4. РЕАГЕНТНА І ТЕПЛОВА ОБРОБКА ОСАДІВ

4.1. Обробка осадів хімічними реагентами і введення присадкових матеріалів

Процес укрупнення і об'єднання в пластівці тонкодисперсних і колоїдних часток, що відбувається при введенні в осаді електролітів (тобто коагуляція), є основним прийомом підготовки осадів до механічного зневоднення на вакуум-фільтрах та фільтр-пресах. При цьому велике значення мають правильне визначення дози хімічних реагентів, способи їх приготування, введення в осад і змішування з ним.

При підготовці до зневоднення на вакуум-фільтрах або фільтр-пресах в якості хімічних реагентів для коагуляції застосовуються хлорне залізо, сірчаноокисле окисне залізо, хлорований залізний купорос, хлоргідрат алюмінію і інші реагенти. В залежності від властивостей осадів і типу реагентів доза останніх становить 0,5 – 20% маси сухої речовини осаду.

Ефективність коагулянтів визначається величиною заряду частинок осаду, концентрацією реагенту, хімічними реакціями, що відбуваються при введенні реагентів в осад, значенням рН середовища, ступенем перемішування і часом контакту з осадом, агрегативною стійкістю утворення пластівців, ступенем їх стискуваності та іншими факторами.

На основі досвіду в області коагуляції стічних вод і осадів можна сформулювати такі загальні положення, властиві колоїдним системам:

- коагулюючою частиною електроліту є один з його іонів, який несе заряд, протилежний за знаком заряду колоїдної частинки;
- ефективність електролітів тим вище, чим вище валентність коагулюючого іона;
- додаванням електроліту після настання ізоелектричного стану можна змінити знак заряду колоїдних частинок на протилежний, внаслідок чого зменшується ступінь коагуляції;
- кількість електроліту, необхідного для коагуляції, значною мірою визначається дисперсністю і хімічним складом часток твердої фази.

Найбільш ефективним із застосовуваних реагентів є хлорне залізо, яке в порівнянні з іншими реагентами швидше руйнує сполуки. При цьому рН осаду зменшується до 4 – 5, тобто до значення, відповідного ізоелектричній точці білкових речовин. При визначенні дози реагентів слід враховувати лужність та вміст органічних речовин в осаді. Чим більше лужність та вміст органічних речовин в осаді, тим більше реагентів потрібно для його коагуляції. Для визначення дози хлорного заліза D , % маси сухої речовини осаду, запропонована наступна формула:

$$D = \frac{0,000108 \cdot W_m \cdot L}{C} + \frac{1,6B}{3}, \quad (4.1)$$

де W_m – вологість осаду, %; L – лужність осаду, мг/л; C – концентрація сухої речовини осаду, %; B – вміст органічної речовини в осаді, %; 3 – золність осаду, %

Аналіз формули (4.1) показує, що для коагуляції сирих осадів, що мають меншу лужність, ніж зброджені осади, потрібна менша доза хлорного заліза. Промивання знижує лужність зброджених осадів і, отже, необхідну дозу реагентів. У зв'язку зі складністю механізму коагуляції осадів і залежністю його від багатьох факторів дозу коагулянтів доцільно визначати шляхом використання узагальнюючого показника водовіддачі осадів. Таким показником є питомий опір. Коагуляція осадів призводить до різкого зменшення їх питомого опору (рис. 4.1, 4.2).

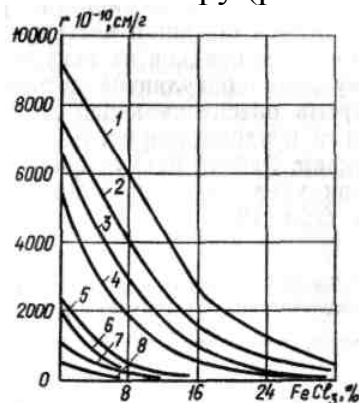


Рис. 4.1 Залежність питомого опору зброджених осадів від дози $FeCl_3$, % маси сухої речовини: 1, 2, 3, 4 – відповідно для термофільних, мезофільних умов Кур'янівської станції аерації; 5 – той самий осад, промитий двома об'ємами очищеної стічної рідини; 6 – промитий двома об'ємами очищеної стічної рідини ЛСА; 7 – для Кунцівської станції аерації; 8 – той самий осад, промитий двома об'ємами очищеної стічної рідини.

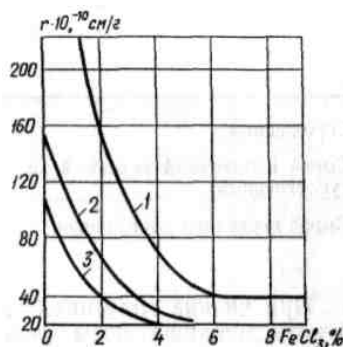


Рис. 4.2 Залежність питомого опору сирих осадів від дози $FeCl_3$, % маси сухої речовини: 1 – для Люблінської станції аерації ($W_m = 94,2\%$, $R = 350,5$ см/г); 2 – для станції аерації м. Калініна ($W_m = 94,8\%$, $R = 153$ см/г); 3 – для Кунцівської станції аерації ($W_m = 92,1\%$, $R = 108,5$ см/г).

Чим вищий початковий питомий опір осаду, тим більше витрачається хімічних реагентів для його зниження. При цьому меншим значенням вихідного питомого опору відповідають менші значення питомого опору осадів після коагуляції.

Криві на рис. 4.1 і 4.2 наближено описуються рівнянням параболи мулу:

$$D = aR^2 - bR + c, \quad (4.2)$$

де a , b , c – коефіцієнти, які можуть бути обчислені на ЕОМ.

Приклад 3. Визначити значення коефіцієнтів a , b , c при коагуляції осадів хлорним залізом. На рис. 4.1:

для кривої 1: $a = 303 \cdot 10^{-9}$, $b = 63 \cdot 10^{-4}$, $c = 33,6$;

для кривої 2: $a = 235 \cdot 10^{-9}$, $b = 47 \cdot 10^{-4}$, $c = 23,3$;

для кривої 6: $a = 167 \cdot 10^{-8}$, $b = 72 \cdot 10^{-4}$, $c = 7,8$.

На рис. 4.2 для кривої 3: $a = 353 \cdot 10^{-6}$, $b = 84 \cdot 10^{-3}$, $c = 5,1$ і т.д.

Витрати на хімічні реагенти для коагуляції осадів є основною частиною експлуатаційних витрат по зневодненню осадів на вакуум-фільтрах та фільтр-пресах. Тому доза коагулянтів повинна бути мінімальною, але в той же час забезпечувати достатню продуктивність фільтрів і задовільне відділення кеку від фільтрувальної тканини. Робота вакуум-фільтрів протікає стало при зниженні питомих опорів осадів до значень, вказаних в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 Значення питомого опору осадів, що забезпечує сталу роботу вакуум-фільтрів

Тип осаду	Питомий опір осадів, $г \cdot 10^{-10}$, см/г	
	вихідних або промитих	після коагуляції
Зброджений	200 – 10000	10 – 60
Сирий надлишковий активний мул (ущільнений)	1000 – 5000	10 – 50
Сирий з первинних відстійників	50 – 1000	5 – 40

При низьких значеннях питомого опору осаду потрібні менші дози реагентів. Однак це не означає, що осади з низькими значеннями питомого опору можуть зневоднюватись на вакуум-фільтрах без введення реагентів.

При високих значеннях вихідного питомого опору осадів навіть значне збільшення дози хлорного заліза не дозволяло отримати зазначених у табл. 4.2 значень питомого опору скоагульованих осадів. Як зазначалося вище, часткове видалення із зброджених осадів колоїдних і дрібнодисперсних часток шляхом промивки їх водою або очищеною

стічною рідиною знижує питомий опір осадів. При цьому скорочується витрата хімічних реагентів для коагуляції осадів (див. рис. 4.1).

При однаковій дозі коагулянту питомий опір промитого осаду знижується в десятки разів більше, ніж непромитих (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 Результати дослідів з промивання і коагуляцією збродженого осаду

Тип осаду	Кількість промивної води, м ³ на 1 м ³ осаду	Доза FeCl ₃ , % сухої маси речовини осаду	Питомий опір, г·10 ⁻¹⁰ см/г
Зброджена 50 % суміш (за об'ємом) активного мулу та осаду (експериментальні моделі)	-	-	1715
	-	8,1	374
	3	-	982
	3	9,9	16,9
	-	-	1210
	-	8,8	95,5
	3	-	275
	3	8,4	8,3
Тип осаду	Кількість промивної води, м ³ на 1 м ³ осаду	Доза FeCl ₃ , % сухої маси речовини осаду	Питомий опір, г·10 ⁻¹⁰ см/г
Зброджений активний мул (експериментальні досліді)	-	-	2380
	-	3,1	1093
	3	-	518
	3	3,5	124
Зброджена в мезофільних умовах суміш активного мулу та осаду Кур'янівської станції аерації	-	-	6750
	-	8,8	2364
	3	-	2385
	3	10,4	104
Зброджена в мезофільних умовах суміш активного мулу та осаду Люблінської станції аерації	-	-	8050
	-	37	56,8
	2	-	1998
	2	13,6	42,4

Не дивлячись на те, що промивання є ефективним способом зниження питомого опору зброджених осадів, для коагуляції промитого осаду необхідні все ж великі дози хлористого заліза. Коагуляція осадів хлористим залізом у поєднанні з вапном дозволяє значно скоротити витрату хлористого заліза, збільшити продуктивність вакуум-фільтрів та знизити вологість кека (таблиця 4.3).

Вапно нейтралізує кислоти, що утворюються при гідролізі коагулянтів, вступає в хімічні реакції з кислотами та органічними речовинами, що містяться в осадах. При цьому скорочуються витрати основного реагенту та не допускається загнивання осаду, а як наслідок і

розповсюдження неприємного запаху. Одночасно вапно відіграє роль присадкового матеріалу, що змінює та підвищує твердість структури осаду.

Таблиця 4.3 Результати дослідів із зневоднення осадів з використанням хлористого заліза, сірчаноокислого окисного заліза та вапна

№ п/п	Тип осаду	Доза, % маси сухої речовини		R, см/г	Вологість кека, %	Продуктивність вакуум-фільтра, кг/(м ² ·год) за сухою речовиною
		коагулянта	вапна за CaO			
З використанням FeCl ₃						
1	Сирий з W _м = 92,1% та R = 108,5 см/г	1,2	1,4	66	80,7	14
		1,2	4,3	32,5	81,5	20,7
		1,7	5,8	13,5	75,5	35,1
2	Сирий з W _м = 94,2% та R = 350,5 см/г	1,5	3,8	71,4	80,8	11,3
		1,5	6,6	33,8	80,8	16,8
		2,4	3,8	52,2	82,4	12,6
		2,4	9,4	16,7	80,6	22
3	Зброджений з первинних відстійників з W _м = 92,3% та R = 884 см/г	2,2	-	410	86,1	10,6
		10,4	-	57	84,9	19
		4,6	2,9	111	83,1	16,6
		4,6	5,7	47	81,7	26
		4,6	19,1	30	79,6	37,3
4	Зброджена суміш з W _м = 93,3% та R = 1992 см/г	1,5	-	1240	88,5	6,3
		3,7	-	578	88,1	8,7
		6	-	353	88,6	10,4
		3,7	3,3	393	85,8	9,1
		3,7	6,6	148	84,3	13,2
		3,7	10	100	83,9	15,4
З використанням Fe ₂ (SO ₄) ₃						
5	Сирий з W _і = 96,7% та R = 50 см/г	1,7	10,2	4	75,5	16
		3	10,2	6	77	13,5
		6	10,2	10	76	12,5
6	Зброджена суміш з W _м = 96,7% та R = 1340 см/г	1,2	14,1	423	93,5	5,8
		2,4	14,1	225	93,3	7,1
		3,6	14,1	166	92	10,9
		6	14,1	110	97,1	15,8
		12	14,1	22,2	80,7	22,3
		18	14,1	31,3	82,2	20,1
7	Ущільнений активний мул з W _м = 97,3% та R = 2300 см/г	3,3	-	1150	95,5	2,8
		6,7	-	780	94,8	3
		13,2	-	310	93,5	3,8
		3,3	22,1	708	93,4	4,4
		6,7	22,1	123	92,3	5,1
		9,8	22,1	25	89,3	10,7

Зіставлення даних, наведених у табл. 4.3 (досліди № 1 і 2), показує, що коагуляція сирих осадів хлористим залізом в поєднанні з вапном дозволяє скоротити витрату хлористого заліза в 2 – 2,5 рази. Вплив вапна особливо позначається на зневодненні зброджених осадів. Без добавки вапна вологість кеку при зневодненні зброджених осадів, як правило, настільки висока, що фільтрувальна тканина швидко замулюється і робота фільтрів порушується.

При обробці осаду хлористим залізом в поєднанні з вапном в осад вводиться спочатку хлорне залізо, а потім вапно. Якщо хлорне залізо вводиться в осад після вапна, то його витрата збільшується приблизно в 1,3 – 1,5 рази.

Дослідження, проведені на багатьох вітчизняних і зарубіжних станціях аерації, свідчать про те, що в багатьох випадках хлористе залізо може бути замінене хімічними реагентами, які є відходами різноманітних виробництв або які виготовляють на основі цих відходів [2-4, 23-27].

У табл. 4.3 (досліди № 5 – 7) наведено результати лабораторних експериментів з обробки осадів сірчаноокислим окисним залізом, отриманим на основі відходів із вмістом 66% основного продукту, 24% води і 10% домішок.

Досліди, проведені на вакуум-фільтрі із східним полотном (площа поверхні фільтрації $0,4\text{ м}^2$), при вакуумі 0,053 МПа (400 мм рт. ст.) і частоті обертання барабана $0,0045\text{ с}^{-1}$, підтверджують дані табл. 4.3. На збродженому осаді Люблінської станції аерації при дозі сірчаноокислого окисного заліза 11,5% (за товарним продуктом) і вапна 15,3% (за CaO) була отримана продуктивність вакуум-фільтра $19,5\text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ за сухою речовиною осаду при середній вологості кеку 80,6%.

У дослідах зі збродженою в термофільних умовах сумішню осаду первинних відстійників і ущільненого надлишкового активного мулу Люберецької станції аерації, попередньо промитої очищеною стічною рідиною ($3\text{ м}^3/\text{м}^3$) і ущільненої, при дозі сірчаноокислого окисного заліза 8,8% і дозі вапна 4,8% (за CaO) була отримана продуктивність вакуум-фільтра $29,6\text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ за сухою речовиною осаду при вологості кеку 82,4%. При обробці осадів сірчаноокислим окисним залізом в поєднанні з вапном підвищена доза окисного заліза в ряді випадків призводить до підвищення питомого опору осаду і вологості кеку і зниження продуктивності вакуум-фільтрів (див. дані дослідів № 5 – 7 в табл. 4.3). Це свідчить про те, що при застосуванні даного реагенту особлива увага повинна приділятися визначенню і підтриманні в процесі експлуатації оптимальної дози, яка забезпечує максимальне зниження питомого опору та сталість роботи вакуум-фільтрів.

В результаті обробки металів сірчаною кислотою утворюються відходи, що містять значну кількість сірчаноокислого закисного заліза – залізного купоросу, який може використовуватися в якості реагенту.

Залізний купорос ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) містив 53% сірчаноокислої закиси заліза, мав щільність $1,9 \text{ т/м}^3$ і розчинність 210 г/л. Наведені криві свідчать про можливість зниження питомого опору осадів при обробці їх залізним купоросом в поєднанні з вапном до значень, рекомендованих табл. 4.1. На станції аерації м. Череповця пропускною здатністю 100 тис. $\text{м}^3/\text{добу}$ були проведені лабораторні досліди зі збродженим осадом по промивці його очищеною стічною рідиною і ущільненням з наступною коагуляцією сірчаноокислим закисним залізом (з вмістом 47 – 54% FeSO_4) – відходом з термічного відділення сталепрокатного заводу.

При промиванні й наступному ущільненні питомий опір осаду знижувався з $(1400 \div 1880) \cdot 10^{10}$ до $(625 \div 800) \cdot 10^{10}$ см/г. Вологість промитого ущільненого осаду становила 94 – 95%, а зольність – 47,5 – 49%. При коагуляції осаду сірчаноокислим залізом його питомий опір не вдається зменшити нижче $280 \cdot 10^{10}$ см/г, в той час, як більш низькими дозами хлорного заліза він може бути зменшений до $50 \cdot 10^{10}$ см/г. Однак застосування сірчаноокислого закисного заліза в поєднанні з вапном дозволяє знизити питомий опір осаду до $(20 \div 40) \cdot 10^{10}$ см/г (рис. 4.3).

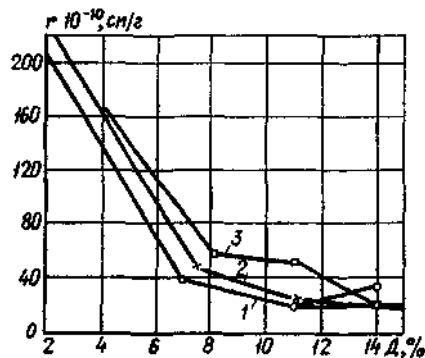


Рис. 4.3 Залежність питомого опору зброджених промитих осадів від дози D вапна (в розрахунку на CaO), % маси сухої речовини: 1 – для прокоагульованого FeSO_4 дозою 2,5% (м. Дніпропетровськ); 2 – для прокоагульованого FeSO_4 дозою 6,7% (м. Череповець); 3 – для щойно обробленого вапном (м. Дніпропетровськ).

Подібні ж досліди проводилися на станції аерації м. Дніпропетровська пропускною спроможністю 72 тис. $\text{м}^3/\text{добу}$. Для обробки зброженого осаду вологістю 97,6%, зольністю 37,4% і питомим опором $2432 \cdot 10^{10}$ см/г застосовувалася промивка очищеною стічною рідиною і коагуляція сірчаноокислим закисним залізом в поєднанні з вапном дозами відповідно 7 і 20% (за CaO) маси сухої речовини заліза. При цьому питомий опір прокоагульованого осаду становив $(40 \div 60) \cdot 10^{10}$ см/г, а вологість кеку дорівнювала 74 – 78%. Проведені досліди показали, що доза FeSO_4 може бути знижена до 2 – 3%, а вапна до 9 – 12% (за CaO). При цьому питомий опір знижується до

$(20 \div 30) \cdot 10^{10}$ см/г і відповідно підвищується продуктивність вакуум-фільтрів. У зв'язку з низькими значеннями вологості і питомого опору зброженого промитого осаду ($R = 274 \cdot 10^{10}$ см/г, $W_m = 92,6\%$, $Z = 49,4\%$) на станції аерації м. Дніпропетровська можлива обробка його одним вапном (див. рис. 4.3).

На очисних спорудах м. Златоуста пропускною спроможністю 40 тис. м³/добу при механічному зневодненні суміші осаду первинних відстійників і активного мулу ($R = 150 \div 800$ см/г) для коагуляції використовуються травильні розчини металургійного заводу і вапно, дозами 8 – 10% (за FeSO₄) і 18 – 20% (за CaO). Продуктивність вакуум-фільтрів в середньому становить 18,5 кг/(м²·год) за сухою речовиною.

Сірчаноокисле окисне залізо є більш ефективним реагентом в порівнянні з сірчаноокислим закисом заліза, оскільки ступінь гідролізу солей окису заліза вище, ніж солей закису заліза, внаслідок чого процес утворення пластівців проходить інтенсивніше. Переведення закисного заліза в окисне виконується в основному в заводських умовах шляхом аерації закисного заліза в лужному середовищі або введенням в розчин окисників, наприклад, хлору. При використанні сірчаноокислого закисного заліза в якості реагенту частина його, що видаляється з фільтратом на очисні споруди, не робить істотного впливу на процес очищення стічних вод, але трохи поліпшує осаджуваність забруднень.

В аеротенках в результаті аерації залізний купорос може переходити з окисного стану в закисний, що сприяє вилученню із стічних вод різних забруднень (наприклад, фосфору).

За технологічними показниками відходи виробництва хлористого алюмінію так само, як сірчаноокислого окисного заліза і залізного купоросу, можуть замінити хлористе залізо при зневодненні сирих та зброжених осадів. Підприємства, що виробляють хлористий алюміній, отримують відходи, що містять до 90% AlCl₃; 0,5% Fe³⁺; 0,85% Fe²⁺; 3 – 4% KCl і NaCl і 6% нерозчинного осаду. Застосування даних відходів дозою 1,7 – 3,3% у поєднанні з вапном дозою (за CaO) 6,4 – 12% знижувало питомий опір сирого осаду з $(127 \div 220) \cdot 10^{10}$ до $(7,34 \div 17,6) \cdot 10^{10}$ см/г, а при обробці зброженої суміші, промитої очищеною стічною рідиною (2 м³/м³ осаду), відходами дозою 0,9 – 2,5% і вапном дозою 10 – 14% (за CaO), питомий опір зменшувався з $(1324 \div 1419) \cdot 10^{10}$ до $(18 \div 44) \cdot 10^{10}$ см/г.

Окрім наведених реагентів, нами випробовувалися і дали позитивні результати травильні розчини електромеханічного заводу, відходи від виробництва ацетилену, карбідний мул, шлам від нейтралізації травильних розчинів вапном, відходи деяких виробництв хлорних заводів, а також заводів з виробництва бромів та інші реагенти.

На рис. 4.4 наведена залежність питомого опору зброженого осаду Кур'янівської станції аерації ($R = 5000$ см/г, $W_m = 97,1\%$) від дози сплаву Березниківського комбінату (склад: $FeCl_3 - 57,8\%$, $FeCl_2 - 0,4\%$, $NaCl - 21,7\%$; $SiO_2 - 10\%$, залізно-рудний концентрат і нафтовий кокс – 10%).

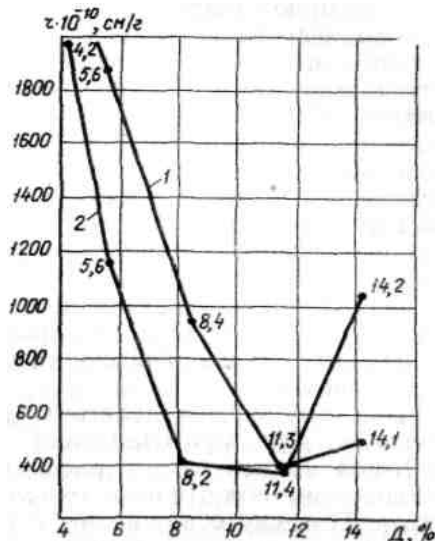


Рис. 4.4. Залежність питомого опору зброженого осаду Кур'янівської станції аерації від дози коагулянта D , % маси сухої речовини осаду: 1 – для сплаву; 2 – для $FeCl_3$

При використанні сплаву в якості реагенту в порівнянні з кристалічним хлористим залізом отримуємо дещо гірші результати, але він цілком може його замінити. Сплав хлоридів Запорізького титано-магнієвого комбінату (табл. 4.4), представлений у вигляді шматків розмірами до 50 – 60 мм, добре розчиняються у воді та використовуються в цехах механічного зневоднення Мінської станції аерації (доза сплаву – 4 – 5%, вапна (за CaO) – 11 – 12% маси сухої речовини осаду).

Таблиця 4.4 Хімічний склад сплаву хлоридів Запорізького титано-магнієвого комбінату

Склад, %	Марка сплаву	
	А	Б
Хлористе залізо	11,00	6,0
Хлористий алюміній	20,00	20,00
Титан (не більше)	4,0	8,0
Залізо двовалентне (не більше)	0,3	2,5
Калій і натрій (не більше)	20,00	25,00
Хлор розчинний (не більше)	58,00	60,00
Хром, марганець, ванадій, кальцій, магній (не більше)	3,2	5,1

При випробуванні нових коагулянтів проводяться досліди з визначення наступних параметрів:

– хімічного складу, швидкості і повноти розчинення реагентів з метою виявлення відсоткового вмісту активної частини і кількості інертних або непрореагувавших матеріалів. Доза реагенту в подальшому розраховується за його активною частиною, що переходила в розчин. Повноту розчинення коагулянту виражають у відсотках і визначають як відношення кількості полуторних окисів, що перейшли в розчин, до кількості полуторних окисів, що містяться у вихідній наважці. Швидкість розчинення визначають при 10-хвилинному перемішуванні;

– гігроскопічності, для чого наважку коагулянту сушать в сушильній шафі до постійної маси і по відношенню мас коагулянту до і після сушіння визначають його гігроскопічність у відсотках;

– коагулюючої дії (оптимальної дози коагулянту).

Наважку для приготування робочого розчину коагулянту 10%-ої концентрації розраховують, виходячи з процентного вмісту полуторного оксиду металу у випробуваному коагулянті. Наважку відважують з точністю до 0,01 г, подрібнюють, поміщають в мірну колбу і вливають необхідну частину води (в тому випадку, якщо при розчиненні коагулянту відбувається розігрів, всі операції по розчиненню слід проводити в термостійкому посуді). Закривши колбу пробкою, її збовтують протягом 30 хв, потім використовують злитий розчин. У кожному конкретному випадку досліди починають з визначення питомого опору і вологості вихідного осаду. Перед дослідом призначають випробовувані дози коагулянту (в межах 1 – 10% маси сухої речовини осаду) і потім розраховують об'єм коагулянту V_k , необхідний для обробки проби осаду,

$$V_k = C_{oc} \cdot V_{oc} \cdot D / C_k \cdot 100, \quad (4.3)$$

де C_{oc} – концентрація осаду, г/л; V_{oc} – об'єм проби осаду, л; D – доза коагулянту, %; C_k – концентрація розчину коагулянту, г/л.

Досліди з визначення максимальної дози коагулянту проводять з осадом, термін зберігання якого повинен бути не більше 3 – 5 годин. У мірний циліндр (з пробкою) об'ємом 250 мл наливають 200 мл осаду і вносять піпеткою (або з бюретки) точно відміряну кількість розчину коагулянту. Потім циліндр кілька разів повільно перевертають для повного змішування коагулянту з масою осаду, після чого проводять фільтрування під вакуумом скоагульованого осаду. При цьому виміри фільтрату проводять частіше, ніж при фільтруванні необробленого осаду, так як швидкість фільтрації скоагульованого осаду помітно зростає. Якщо при фільтруванні осаду відбувається розтріскування кеку на тканині, то фільтрування проводять до моменту розтріскування, тобто до початку падіння вакууму. Якщо коагулянт не дає необхідного зниження питомого опору, то в якості додаткового реагенту використовують вапно, дозу якого

призначають в розрахунку на CaO. При приготуванні вапняної суспензії 10%-ої концентрації (у перерахунку на CaO) розчин не зливають, а використовують збовтану пробу.

При підборі оптимальних доз коагулянтів рекомендується користуватися наступною схемою проведення досліду: спочатку визначається зниження питомого опору осаду при введенні одного коагулянту (всього чотири – сім різних доз). На підставі отриманих даних будується крива зниження питомого опору в залежності від дози коагулянту. На ділянці кривої найбільш різкого зниження питомого опору вибирається не менше трьох точок. Для кожної з доз, що відповідають обраним точкам, визначається зниження питомого опору при додаванні вапна (за CaO) у кількості 3 – 25% (три – п'ять доз). Потім будують криві зниження питомого опору в залежності від дози вапна для кожної з обраних доз коагулянту.

За оптимальну дозу коагулянту приймається така мінімальна доза, при якій питомий опір даного осаду знижується до значень, що забезпечують стійку роботу вакуум-фільтрів (див. табл. 4.1).

В якості прикладу на рис. 4.5 показано визначення дози хлористого заліза та вапна (за CaO) при коагуляції збродженого промитого осаду Люблінської станції аерації. З малюнка видно, що оптимальною для даного осаду є доза хлористого заліза 4,7% і вапна 14,6% (за CaO) маси сухої речовини осаду.

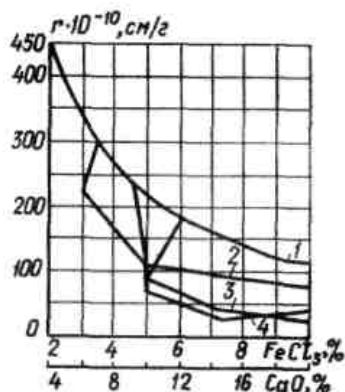


Рис. 4.5 Залежність питомого опору збродженого промитого осаду Люблінської станції аерації ($R = 1670$ см/г, $FeCl_3$; $W_m = 97\%$) від дози коагулянта, % маси сухої речовини осаду: 1 – для $FeCl_3$; 2 – для 3,4% $FeCl_3$ + вапно; 3 – для 4,7% $FeCl_3$ + вапно; 4 – для 6% $FeCl_3$ + вапно.

Досліди показали, що при коагуляції осадів частина реагентів, розчиняючись в рідкій фазі, видаляється разом з фільтратом. При цьому втрати реагентів тим більше, чим вище вихідна вологість осаду.

Обробка експериментальних даних дозволила запропонувати емпіричну формулу для визначення орієнтовної дози коагулянтів при підготовці осадів до зневоднення на вакуум-фільтрах, яка враховує

питомий опір вихідного осаду, його лужність і відношення рідкої фази до концентрації сухої речовини осаду:

$$D = K \cdot \left(\sqrt{R} + \sqrt{\frac{W_m}{C} \cdot 0,001L} \right), \quad (4.4)$$

де D – доза коагулянту, % маси сухої речовини осаду; K – коефіцієнт, що залежить від виду та хімічного складу коагулянту, а також від типу осаду; $R = r \cdot 10^{-10}$ – питомий опір осаду, см/г; W_m – вологість осаду, %; C – концентрація сухої речовини осаду, %; L – лужність осаду до коагуляції, мг/л.

Для сирого і зброженого осадів при коагуляції хлористим залізом коефіцієнт $K = 0,25$. При коагуляції хлористим залізом в поєднанні з вапном доза вапна (за CaO) визначається також за формулою (4.4), при цьому для зброженого осаду $K = 0,25$, для сирого осаду і надлишкового активного мулу $K = 0,30$. Доза хлористого заліза в цьому випадку становить 30 – 40% обчисленої дози в перерахунку на CaO .

Зміна структури осадів досягається введенням в них крім вапна тирси, деревного борошна, діатоміту, шлаку, золи, кремнезему та інших присадкових матеріалів. Присадкові або допоміжні фільтруючі матеріали – інертні, легкі для фільтрування речовини, які суттєво не змінюють заряду частинок осаду, але створюють сильнопористу структуру. Вони вводяться в осад у сухому вигляді або у вигляді водних суспензій.

На рис. 4.6 наведено результати введення деяких присадкових матеріалів в ущільнений активний мул. При застосуванні деревного борошна дозою 100 – 150% маси сухої речовини активний мул зневоднювався на вакуум-фільтрі до вологості 83 – 85% при продуктивності останнього 4 – 4,5 кг/(м²·год) за сухою речовиною мулу (крива 1).

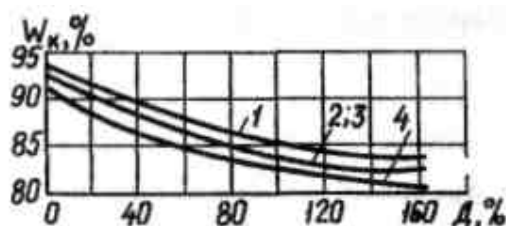


Рис. 4.6 Залежність продуктивності вакуум-фільтра L , вологості кеку W_k при зневодненні активного мулу від дози деревного борошна, % маси сухої речовини: 1 – деревне борошно; 2 – те саме + 4,7% $Al_2(SO_4)_3$; 3 – деревне борошно + 4,7% $Fe_2(SO_4)_3$; 4 – те саме + 4,7% $FeCl_3$.

Застосування двох послідовно введених реагентів – 4,7% сірчанокислового алюмінію і деревного борошна або 4,7% сірчанокислового заліза і деревного борошна дозою 100% маси сухої речовини мулу –

дозволило збільшити продуктивність вакуум-фільтра до $8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ при вологості кеку $83 - 84\%$ (криві 2 і 3).

Ці результати дещо гірші за результати, отримані при спільному використанні хлористого заліза дозою $4,7\%$ у поєднанні з деревним борошном, але в цьому випадку можлива заміна хлористого заліза на більш дешевий реагент при досить ефективній роботі вакуум-фільтра. Приблизно такі ж результати були отримані при роботі з тирсою, шлаком і діатомітом.

За кордоном на багатьох очисних станціях в якості присадкового матеріалу застосовується зола, що отримується від спалювання осадів після їх зневоднення.

З метою інтенсифікації процесу зневоднення осадів стічних вод в ряді країн ведуться дослідження зі створення і застосування високомолекулярних флокулянтів. Завдяки наявності іоногенних груп флокулянти є напівелектролітами і дисоціюють у воді на іони. В залежності від природи іоногенних груп полііон, що утворюється при дисоціації, має негативний (аніонні флокулянти) або позитивний (катіонні флокулянти) заряд. Сутність дії високомолекулярних флокулянтів полягає у прискоренні процесу утворення і підвищення міцності колоїдних структур, а також зв'язуванні мікропластівців в крупні агрегати. При різнойменному заряді частинок осаду і полііонів полімеру флокуляція може відбуватися без застосування мінеральних коагулянтів.

У табл. 4.7 показано дію на осади катіонних флокулянтів типу ВА-2 і ВА-3. Зниження питомого опору осадів відбувається при значно менших дозах флокулянтів у порівнянні з дозами хлористого заліза. Застосування катіонних флокулянтів ВА-2 і ВА-3 дозволило отримати продуктивність вакуум-фільтрів при зневодненні суміші сирого осаду з активним мулом, рівну $12 - 17 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, активного мулу – $7 - 10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ і збродженої суміші – $14 - 19 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ за сухою речовиною. Вологість кеку становила для суміші сирого осаду з активним мулом $80 - 85\%$, активного мулу $87 - 89\%$ і збродженої суміші $78 - 82\%$.

Флокулянти знижують індекс центрифугування, набагато підвищують ефективність затримання сухої речовини при зневодненні осадів на центрифугах і застосовуються для освітлення фугату і обробки осадів при зневодненні на стрічкових фільтр-пресах і вакуум-фільтрах.

В даний час за кордоном існує велике число флокулянтів з широко розсіяною катіонної щільністю заряду і різною молекулярною масою, що випускаються фірмами «Аллаїд коллоїдз», «Штокхаузен», «Нелько», «Саніо» та іншими марок «Зетаг», «Проестол», «Магнофлок», «Херкофлок», «Нелько». Флокулянти звичайно поставляються у вигляді порошку, гранульованого або концентрованого желеподібного матеріалу, які при змішуванні з водою утворюють розчини з високою в'язкістю.

Таблиця 4.7 Вплив флокулянтів на питомий опір осадів Люблінської станції аерації

Тип осаду	Доза реагенту, % маси сухої речовини мулу			Питомий опір обробленого осаду $\text{г} \cdot 10^{-10}$, см/г
	FeCl ₃	ВА-2	ВА-3	
Суміш сирого осаду та активного мулу, R = 440 см/г	2,6	-	-	109
	5,1	-	-	40
	-	0,4	-	29
	-	0,8	-	19
Активний мул, R = 471 см/г	-	0,8	-	42
	-	1,5	-	16
	-	-	0,5	36
	-	-	1	19
Зброджена суміш осаду первинних відстійників та активного мулу, R = 2460 см/г	10	-	-	1000
	-	0,5	-	1840
	-	2,1	-	21

Робочі розчини застосовуються з концентрацією 0,1 – 0,2%. У зв'язку з розходженням розмірів частинок, їх заряду, величини рН, кількості органічних речовин, вологості та складу осадів застосовуються не тільки різні види флокулянтів, але і різні їх дози і місця введення в осад. Флокулянт ОКФ отримують шляхом обробки 1 – 2%-их водних розчинів ПАА-гелю (поліакриламід) в лужному середовищі при температурі 60 – 70 °С формальдегідом і диметиламідом з подальшою стабілізацією готового продукту соляною кислотою.

Центрифугування осадів із застосуванням ОКФ дозою 0,2 – 0,6% маси сухої речовини дозволяє підвищити ефективність утримання сухої речовини з 40 – 60 до 95 – 99%. Лабораторні досліди показали, що зневоднення суміші осаду і активного мулу на вакуум-фільтрах із ОКФ дозою 0,11 – 0,14% маси сухої речовини дозволяє отримувати кек вологістю близько 75% без застосування мінеральних реагентів.

Реагентне господарство повинно включати споруди та обладнання для приймання, складування, приготування розчинів і дозування реагентів.

Мінеральні хімічні реагенти, що застосовуються для коагуляції осадів, зазвичай дозуються у вигляді 10%-х розчинів або суспензій. Доставляються вони в твердому вигляді або у вигляді концентрованих розчинів. Хімічні реагенти, особливо хлористе залізо, викликають корозію металів, тому вони повинні доставлятися в сталевих барабанах, покритих всередині лаком етиноль, в поліетиленовій тарі, дерев'яних бочках, гумованих цистернах або титанових резервуарах. Реагенти можуть зберігатись в доставленій тарі або в резервуарах з антикорозійним покриттям, об'єм яких розрахований на зберігання 15 – 20-добового запасу розчину 30 – 45%-ої концентрації. При поставці реагентів в

залізничних цистернах об'єм резервуарів повинен розраховуватися на прийом доставленої кількості реагенту або повинні проектуватися прирейкові склади-ємності.

При зберіганні реагентів в тарі резервуари можуть розраховуватися на приготування їх розчину 10%-ої концентрації для забезпечення 2-добової роботи фільтрувальних установок. При цьому має бути передбачено не менше двох резервуарів, один з яких служить для завантаження і приготування розчину, а інший в цей час є робочим.

При доставці і зберіганні вапна в рідкому і меленому вигляді або у вигляді вапнякового тіста спрощується склад реагентного господарства, а також приготування вапняних розчинів. Для обробки осадів найбільш придатне вапно з великим вмістом CaO . Цій вимозі задовольняє негашене грудкове та мелене вапно без мінеральних добавок і з найменшим вмістом MgO . Кожна одержана партія реагентів повинна бути перевірена лабораторією станції на відповідність якості даним паспорта-сертифіката.

Негашене грудкове повітряне вапно відвантажують, насипаючи в будь-яку тару, яка захищає її від розпилення, зволоження і забруднення. При перевезенні залізницею вапно грузять в криті вагони.

Зберігання негашеного вапна передбачається в закритому сухому неопалюваному приміщенні, розрахованому на 15-денний запас. Збільшення терміну зберігання приводить до карбонізації вапна, що утруднює приготування розчину і знижує його активну здатність. Рационально зберігати вапно у спеціальних бункерах, що завантажуються автонавантажувачем та обладнаних живильниками для подачі її до резервуарів.

Для збереження активності вапно можна зберігати у вигляді вапнякового тіста. З цією метою вапно засипають у спеціальні ємності, зволожують і перемішують. Витрата води для зволоження становить $0,7 - 1 \text{ м}^3/\text{т}$. При зберіганні вапняного тіста відбувається одночасне гашення вапна. У ємності вапнякове тісто може перебувати протягом року і забиратися звідти в міру необхідності, при цьому слід вживати заходів, що попереджають замерзання тіста в зимовий період.

Зберігання вапна і приготування з нього суспензій значно спрощується в разі отримання від підприємства-постачальника вапна в меленому вигляді або у вигляді вапняного борошна. Мелене вапно може розвантажуватися з допомогою пневмотранспорту безпосередньо в резервуари, попередньо заповнені до потрібного рівня водою, або в бункери типу силосної башти.

Силосні башти-склади з пневматичним розвантаженням або із розвантаженням за допомогою шнеків останнім часом широко застосовуються для сипучих матеріалів в різних галузях промисловості. Силосна вежа (рис. 4.7) це циліндричні залізобетонні або металеві ємності діаметром $5 - 8 \text{ м}$ і висотою до 15 м . Вони можуть розташовуватися

уздовж під'їзних шляхів. Дно силосів влаштовується з невеликим відхиленням вбік випускного отвору. На ньому передбачаються розвантажувальні жолоби, викладені пористими керамічними плитками, через які надходить стиснене повітря. При подачі стисненого повітря вапняне борошно розпушується, стає текучим, легко розвантажується і може транспортуватися по шлангах. Зберігання вапняного борошна в силосних складах запобігає запилюванню вапна, а аерація повітря – його злежуванню, полегшує розвантаження вапна, забезпечує необхідну продуктивність і гігієнічні умови роботи [2-5].

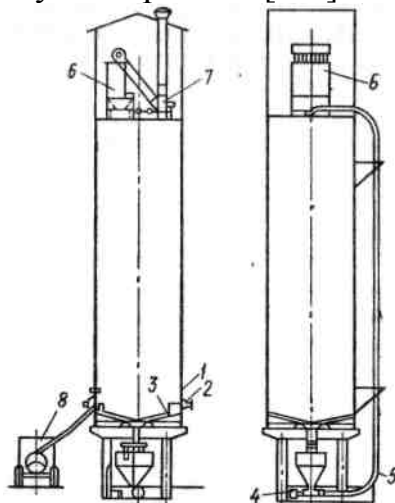


Рис. 4.7 Схема силосної башти – складу меленого вапна: 1 – коробка для розподілу повітря; 2 – бічний пневморозвантажувач; 3 – дно силоса з пористою плиткою; 4 – гвинтовий пневмонасос для перекачування матеріалу; 5 – трубопровід для пневмоперекачування; 6 – рукавний фільтр; 7 – вентилятор; 8 – цементовіз або мінераловіз.

За наявності складів для зберігання вапна або можливості отримувати його з поблизу розташованих складів постачальника доцільно в реагентному господарстві передбачати лише резервуари для приготування безпосередньо робочого розчину вапна 10%-ої концентрації. Для приготування вапна та запобігання його осіданню застосовують механічні мішалки або гідравлічне перемішування насосами типу НІ або НФ. При приготуванні розчинів повинна дотримуватися задана концентрація. Найбільш простим способом визначення концентрації є спосіб, заснований на визначенні густини розчину ареометром. Розчин хімічно чистого хлористого заліза 10%-ої концентрації має щільність $1,09 \text{ г/см}^3$. Вміст СаО у вапняній суспензії слід підтримувати в межах 100 – 120 г/л, що відповідає щільності суспензії $1,07 - 1,09 \text{ г/см}^3$. Дозування хімічних реагентів повинно бути простим і надійним, що забезпечує безперебійну роботу всієї установки механічного зневоднення осаду. Простіше всього дозування реагентів можна здійснювати за

допомогою насадок, виготовлених з вініпласту, або відтарованих пробкових кранів.

Коагулянти вводяться в осад у безпосередній близькості до фільтрувальних установок. Для змішування осаду з реагентами застосовуються змішувачі йоржового або перегородкового типу, мішалки з малою частотою обертання (до 40 хв^{-1}), а також перемішування шляхом створення гідравлічного стрибка або витoku реагенту з-під щита. Пристрій контактних резервуарів небажаний, оскільки для контакту осаду з хімічними реагентами достатньо $0,5 - 2,5 \text{ хв}$, а збільшення часу контакту веде до розукрупнення утворених пластівців і підвищення питомого опору осаду. Так, збільшення часу контакту до 20 хв підвищує питомий опір осаду на 10% , подальше збільшення часу зберігання скоагульованого осаду веде до ще більшого збільшення його питомого опору. До таких же результатів приводять перекачування скоагульованого осаду і наявність в лотках різких поворотів та інших пристосувань, що руйнують пластівці осаду. Скоагульований осад після змішувачів подається безпосередньо на фільтрувальні установки для зневоднення.

4.2. Теплова обробка і заморожування осадів

При вирішенні проблеми обробки осадів міських стічних вод велике значення надається застосуванню безреагентних способів зміни їх фізико-хімічних властивостей. Одним з ефективних способів підвищення водовіддачі осадів є їх термічна обробка з використанням як високих, так і низьких температур.

Зміна положення критичних точок вологості при переході частини зв'язаної вологи у вільну пояснює підвищення водовіддачі осадів після їх теплової обробки або заморожування. Відомо, що вільна вода, що не містить домішок, а також структурна вода і вода змочування закипають при температурі 100°C і замерзають при температурі 0°C . Температури кипіння і замерзання капілярної вологи залежать від товщини капілярів: чим тонше капіляри, тим більш низька температура необхідна для заморожування і більш висока для кипіння і видалення наявної в них зв'язаної вологи. Заморожування, як і видалення з осаду фізико-хімічно зв'язаної вологи, ускладнено внаслідок орієнтації молекул води щодо поверхні твердих частинок. У міру наближення до поверхні частинок орієнтація молекул посилюється, що веде до зменшення міжмолекулярних просторів і збільшення щільності води, а отже, до підвищення температури кипіння і зниження температури її замерзання.

На рис. 4.8 наведені криві заморожування води ($ABC_{\text{в}}E_{\text{в}}$) і активного мулу вологістю 97% ($ABC_{\text{мул}}E_{\text{мул}}$), отримані для однакових умов заморожування зразків при температурі -10°C . Заморожування

проводилося в холодильній камері НП-04, що працює в діапазоні температур від 0 до -20°C .

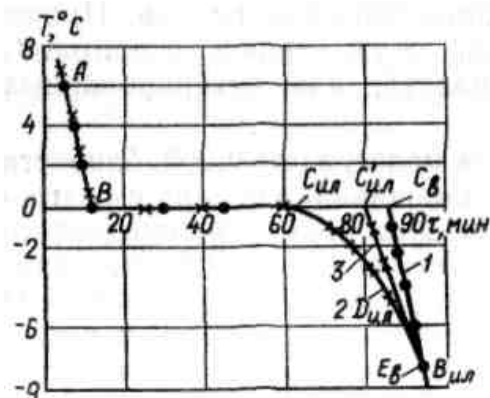


Рис. 4.8 Графік заморожування і відтавання води та активного мулу: 1 – заморожування і відтавання води; 2, 3 – відповідно заморожування і відтавання активного мулу.

У початковий період кристалізація активного мулу аналогічна кристалізації води, але в точці $C_{\text{мул}}$ починається повільне зниження температури кристалізації, яке триває до точки $D_{\text{мул}}$, після чого температура льоду швидко і рівномірно знижується. Криву кристалізації активного мулу можна розбити на чотири ділянки. На ділянці АВ відбувається зниження температури до 0°C ; на ділянці $BC_{\text{мул}}$ – фазовий перехід вільної води з рідкого стану в твердий; на ділянці $C_{\text{мул}}E_{\text{мул}}$ триває льодоутворення в результаті наявності зв'язаної води мулу. Однак інтенсивність утворення льоду на цій ділянці знижується через необхідність подолання сил зчеплення води з твердою фазою осаду. На ділянці $D_{\text{мул}}C_{\text{мул}}$ кристалізація припиняється і температура льоду знижується до температури навколишнього середовища. Танення води (крива 1 на рис. 34) відбувається аналогічно її кристалізації, але в зворотному порядку. Побудувавши криву танення замороженого мулу, можна визначити положення точки $C_{\text{мул}}$ (крива 3 на рис. 34), яка характеризує збільшення кількості вільної води після заморожування і відтавання.

Встановлено, що повне проморожування осадів дозволяє знижувати значення їх питомого опору до $(1 \div 6) \cdot 10^{-10}$ см/г (табл. 4.8). При цьому більш низькі значення питомого опору осадів досягаються шляхом повільного заморожування. Завдяки здатності води мігрувати через стінки клітин осередків колоїдів в процесі заморожування відбувається зневоднення твердої фази. Якщо процес протікає постійно досить повільно, то вся зв'язана волога, здатна до дифузії за даних умов, встигає мігрувати в міжклітинний простір, де вона і замерзає. Тиск, що виникає

при розширенні кристалізації води, сприяє коагуляції і укрупненню зневоднених часток твердої фази осадів.

Таблиця 4.8 Вплив температури заморожування на зниження питомого опору осадів

Тип осаду	Вихідна вологість, %	Температура заморожування, °С	Питомий опір $r \cdot 10^{-10}$, см/г	
			вихідний	після заморожування та відтавання
Активний мул	97,5	- 15	985 – 2320	3,3 – 8,5
		- 3 ÷ - 7		
Сирий з первинних відстійників	95,5 – 96	- 15 ÷ - 18	710 – 830	8 – 18,5
		- 3 ÷ - 5		
Зброджена суміш	97	- 15 ÷ - 25	2180 – 2520	20 – 138
		- 3 ÷ - 15		

У зв'язку з великою швидкістю водовіддачі замороженого та талого осаду японські дослідники (Нода Сороку, Кояма Кейіті та ін) пропонують його питомий опір r_3 визначати за уточненою формулою:

$$r_3 = r_1 \cdot V^n, \quad (4.5)$$

де r_1 – питомий опір, визначений на початку фільтрування; V – об'єм фільтрату, отриманий за період титрування τ ; $n = k - 1$ – коефіцієнт, що залежить від швидкості водовіддачі осаду (k – тангенс кута нахилу кривої, побудованої за даними досліду в координатах V і τ/V).

Осад після заморожування і відтавання зневоднюється механічним шляхом без застосування додаткових реагентів. Особливо ефективно його зневоднення на наливних фільтрах і стрічкових фільтр-пресах. Тривала витримка відталого осаду веде до погіршення його водовіддачі.

Крім температури заморожування на водовіддачу осадів великий вплив чинить період заморожування. Інтенсивність процесу заморожування осадів характеризується значенням поверхневої густини теплового потоку $Вт/м^2$, яка обчислюється за формулою:

$$g = \frac{t_{oc} - t_{kp}}{1/a + \delta/\lambda}, \quad (4.6)$$

де t_{oc} – температура навколишнього середовища, К; t_{kp} – криоскопічна температура осаду, К; a – коефіцієнт тепловіддачі від

поверхні заморожуваного осаду, Вт/(м²·К); δ – товщина шару осаду, м; λ – теплопровідність заморожуваного осаду.

Значення коефіцієнта a залежить від швидкості руху повітря при заморожуванні і може бути визначено за формулою Р. Планка:

$$a = 7,5 \cdot v^{0,8}, \quad (4.7)$$

де v – швидкість руху повітря, м/с.

При заморожуванні поверхнева щільність теплового потоку змінюється в міру наростання шару льоду. Середнє значення поверхневої густини теплового потоку знаходять за формулою:

$$g_{cp} = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t \ln \left(1 + \frac{\delta}{\lambda} a \right). \quad (4.8)$$

Маючи середнє значення поверхневої густини теплового потоку, можна визначити час заморожування τ , з, за формулою:

$$\tau = g_{cp} \cdot \rho \cdot \delta / g, \quad (4.9)$$

де g_{cp} – середня питома кількість теплоти, що відводиться при заморожуванні 1 кг осаду, Дж/кг; ρ – густина льоду, кг/м³.

При штучному заморожуванні осадів оптимальні значення питомого теплового потоку (поверхневої щільності) знаходяться в межах 230–700 Вт/м². Більш високі теплові потоки недостатньо знижують питомий опір осадів, а більш низькі викликають різке зниження економічних показників внаслідок зростання металоємкості теплообмінного обладнання.

Найбільш ефективним і економічним є заморожування в холодильних установках безпосереднього контакту осаду з холодоагентом. Однак для впровадження цього методу потрібно проведення додаткових досліджень і створення спеціального компресорного та теплообмінного обладнання.

Теплова обробка – це нагрівання осадів до температури 170 – 220° С при тиску 1,2 – 2 МПа, відповідному тиску насичених водяних парів при даній температурі, з витримкою осадів при зазначених параметрах протягом 30 – 120 хв залежно від їх властивостей.

У процесі теплової обробки відбувається розпад органічних речовин, в основному білків, їх розчинення і перехід осадів з твердої фази в рідку. При цьому змінюється структура осадів, їх зольність і частково хімічний склад, досягається поліпшення водовіддачі і нейтралізації осадів. Тепловій обробці можуть піддаватися як сирі, так і зброжені осадки. За кордоном теплову обробку часто застосовують у поєднанні зі зброжуванням осадів

в мезофільних умовах. При цьому у багатьох випадках ведеться зброджування осадів в двоступеневих метантенках. Зброджування сприяє процесу теплової обробки і дозволяє розкласти органічні, головним чином жирові, речовини осадів і скорочувати енергетичні витрати шляхом використання на нагрівання надлишкової теплоти, одержуваної від спалювання газів бродіння.

У процесі теплової обробки питомий опір осадів знижується до значень, що дозволяють зневоднювати осади на вакуум-фільтрах та фільтр-пресах без обробки хімічними реагентами.

При ущільненні осадів, підданих тепловій обробці, об'єм їх скорочується в 2 – 4 рази. Зливна вода з ущільнювачів і фільтрат містять 2000 – 6000 мг/л завислих речовин, при цьому в рідку фазу переходить до 80% азоту, БСК₅ і ХСК зливної води і фільтрату коливаються в широких межах (БСК₅ – від 2000 до 10000 мгО₂/л, ХСК – від 5000 до 16000 мгО₂/л).

В залежності від властивостей осадів, режиму їх обробки та застосовуваних апаратів вологість зневоднених осадів коливається від 40 до 75%. Крім витрат електроенергії на подачу, зневоднення і створення необхідного тиску при підігріванні осадів потрібна тепла енергія, витрата якої залежить від режиму роботи і продуктивності установок; при калорійності палива 40 МДж вона становить 7 – 12 кг на 1 м³ осаду. В якості теплоносія використовуються нагріті осади, масла, пом'якшена вода або синтетичні суміші. Для догрівання осадів в більшості випадків застосовується “гострий” пар.

Для витримування необхідних режимів роботи установка повинна бути автоматизована. При роботі на установках повинні суворо дотримуватися вимоги техніки безпеки.

На Люберецькій станції аерації працює установка з теплової обробки осадів продуктивністю 30 м³/год, реалізована за ліцензією ФРН. Процес здійснюється в реакторі за температури 206 – 210° С. Оброблений осад ущільнюється до вологості 88 – 90%, а потім зневоднюється на фільтр-пресі до вологості 40 – 45%. Питома витрата тепла становить близько 300 МДж, а електроенергії – 7 кВт·год на 1 м³ зброженого ущільненого осаду вологістю 96%, БСК_п мулової води – близько 7000 мг/л.

За кордоном метод теплової обробки вперше з'явився в Англії (під назвою “метод Портеуса”), де була побудована перша установка, а потім метод удосконалювався рядом фірм, зокрема “Фон Ролл” і “Техфіна” (Швейцарія), “Фаррер”, (Англія), “Дегремона” (Франція), “Дорр-Олівер” (США), “Санкі” (Японія) та ін.

Схема установки для теплової обробки осадів стічних вод наведена на рис. 4.9. Сирий або зброжений осад, що підлягає обробці, подається в резервуар – регулятор витрати осаду, звідки надходить у дробарку для подрібнення, а з неї – в проміжний резервуар, з якого забирається насосами високого тиску і через теплообмінники подається в реактор. У

теплообмінниках осад нагрівається осадом, що випускається з реактора. У реакторі нагрітий осад змішується з паром, що надходить з котельні, і витримується. Утворений при цьому газ через спеціальний пристрій випускається з верхньої частини реактора, охолоджується і очищується.

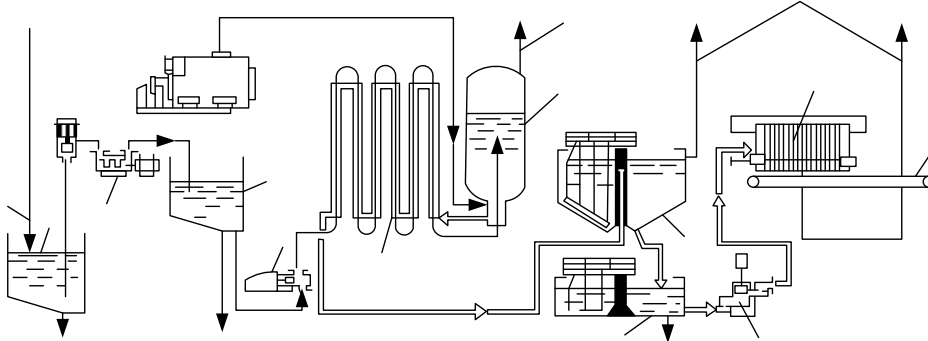


Рис. 4.9 Схема установки для теплової обробки осадів стічних вод: 1 – подача осадів; 2 – резервуар осадів; 3 – дробарка; 4 – проміжковий резервуар; 5 – насоси високого тиску; 6 – трубчасті теплообмінники; 7 – реактор; 8 – котельня; 9 – пристрій для випуску газу; 10 – відстійник-ущільнювач; 11 – резервуар ущільненого осаду; 12 – насоси; 13 – рамкові фільтр-преси; 14 – транспортер зневодненого осаду; 15 – відвід зливної води та фільтрату на очищення.

Оброблений в реакторі осад через теплообмінники направляється у відстійник-ущільнювач, де його об'єм зменшується. Ущільнений осад надходить в проміжковий резервуар, звідки подається на фільтр-преси або вакуум-фільтри. Зливна вода з ущільнювача і фільтрат від фільтр-пресів або вакуум-фільтрів скидаються в головну частину очисних споруд станції або на локальну очистку. Температура осаду, що надходить з теплообмінників і виходить з них, повинна підтримуватися практично сталою.

Установки, розроблені різними фірмами, відрізняються способами підготовки та нагріву осаду, рекуперації тепла; конструкціями теплообмінників, реакторів, запірно-регулюючої апаратури, насосів та іншого обладнання.

На японських установках великі частки з вихідного осаду витягуються на механізованих решітках або ситах та гідроциклонах, а потім залишкові частинки подрібнюються. Осад, що подається під тиском, нагрівається в двоступінчатих теплообмінниках і трубчастому реакторі. При цьому в якості проміжного теплоносія використовується нагріте масло. З трубчастого реактора осад випускається в сепаратор, що служить для відділення і видалення з осаду парогазової суміші.

Фірмою “Ферайнігте Кессельверке Багкок” (ФРН) розроблені високопродуктивні випарні теплообмінники, нагрівання осадів в яких відбувається послідовно в результаті закипання осаду при зниженні тиску.

Догрівання осаду здійснюється “гострою” парою. Однак така система вимагає складного регулювання з виміром до 30 показників на лінії і застосуванням декількох насосів високого тиску з жорстким режимом роботи (при підвищених температурах і тиску).

Одна з найбільш великих установок з теплової обробки осаду працює на станції аерації Ашер в Парижі. Повна біологічна очистка, передбачена на цій станції, забезпечується наступними спорудами: автоматизованими ґратами, пісковловлювачами, первинними радіальними відстійниками зі скрібками для згрібання осаду і впливаючих речовин, аеротенками з аерацією через фільтросні пластини або дірчасті труби, вторинними радіальними відстійниками та мулососами.

Осад з первинних відстійників і ущільнений надлишковий активний мул піддаються мезофільному зброджуванню в двоступеневих метантенках при температурі 35° С.

Зброджування суміші на станції Ашер дозволяє скоротити кількість сухої речовини з 635 до 430 т/добу. За рахунок одержуваного газу (15 м³ газу на 1 м³ осаду) в основному задовольняються потреби станції в постачанні парою і електроенергією (в холодну пору року додається близько 30% палива). Крім того, процес зброджування в метантенках в таких великих об’ємах відносно простий і забезпечує надійність захисту проти поширення запаху.

Для обробки зброженого осаду на третій черзі станції Ашер побудований цех теплової обробки і механічного зневоднення загальною продуктивністю 120 т/добу за сухою речовиною. Цех розбитий на п’ять паралельних самостійних ліній кожна продуктивністю по 30 м³/год з ущільнення осаду.

Осад з метантенків другого ступеня надходить в резервуар, обладнаний мішалками для підтримання його однорідності, з якого подається в дробарку, а потім під тиском близько 2 МПа безперервно надходить в трубчасті теплообмінники (типу труба в трубі), проходячи по яких підігрівається вихідним з реактора осадом. У реакторі внаслідок безпосереднього контакту з парою осад догрівається до температури 180 – 200° С і витримується при такій температурі протягом 45 хв. Витрата пари на підігрівання 1 м³ осаду складає 120 кг. Випуск осаду з реактора проводиться через випускний клапан періодично 1 раз на 5 хв в результаті зміни рівня осаду в реакторі, який коливається по висоті до 50 см. Реактор обладнується запобіжним клапаном. Газ, що виділяється при нагріванні, спеціальним пристроєм викидається в атмосферу. Надалі газ будуть збирати і спалювати.

Після теплової обробки осад направляється у відстійники-ущільнювачі, де протягом 7 год ущільнюється до вологості 85 – 88%, а потім перекачується в резервуар для зберігання. Водна поверхня ущільнювача і резервуарів для зберігання осаду закриваються плаваючими

пластмасовими кульками однакового діаметру (40 – 50 мм), які перешкоджають виділенню запаху.

З резервуара для зберігання осад насосами під тиском до 0,7 МПа подається на напівавтоматичні камерні фільтр-преси для зневоднення. У цеху зневоднення осаду встановлено 10 напівавтоматичних фільтр-пресів з загальною площею фільтруючої поверхні 2900 м². Продуктивність фільтр-пресів складає 3 кг/(м²·год) за сухою речовиною при тривалості фільтроциклу 2 – 2,5 год, товщині зневодненого осаду 30 мм і вологості 50 – 55%. Зневоднений осад потрапляє на стрічковий конвеєр, який транспортує його спочатку на роздрібнення, а потім на складування. Після одно-, двомісячного зберігання осад вивозиться для використання в сільському господарстві.

На новій черзі станції аерації Ашер-IV освоєно сім ліній продуктивністю 40 м³/год за вихідним осадом.

Переваги методу теплової обробки полягають в тому, що при його застосуванні відпадає необхідність в реагентній обробці осадів перед механічним зневодненням, оброблений осад стерильний, має низьку вологість і не загниває при зберіганні. Однак даний метод має такі недоліки:

- наявність великої кількості зважених речовин і високі значення БСК і ХСК мулової води і фільтрату;
- застосування порівняно складної дробильної, регулювально-запірної і контрольно-вимірювальної апаратури, а також насосів, теплообмінників і реакторів, що працюють під тиском;
- утворення газів і запахів в процесі обробки осадів;
- скорочення вмісту органічних компонентів в оброблених осадах, що знижує їх цінність як добрива.

Зневоднений осад можна спалювати самостійно і в суміші зі сміттям або використовувати як добриво. Перед використанням у якості добрива для зниження ХСК осаду потрібно його витримати на повітрі протягом декількох тижнів.

Контрольні запитання

1. Опишіть технологічні процеси реагентної обробки осадів встічних вод.
2. Опишіть технологічні процеси теплової обробки осадів стічних вод.
3. Дайте характеристику обробка осадів хімічними реагентами і введення присадкових матеріалів.
4. Опишіть технологічні процеси обробки осадів стічних вод заморожуванням.

Розділ 5 ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ НА ВАКУУМ-ФІЛЬТРАХ І ФІЛЬТР-ПРЕСАХ

5.1. Теоретичні основи технології фільтрування осадів

Зневоднення осаду шляхом фільтрування – процес відділення твердих часток від рідини, що відбувається за різниці тисків над фільтрувальним середовищем і під ним. Фільтрувальним середовищем на барабанних вакуум-фільтрах та фільтр-пресах є фільтрувальна тканина і шар осаду, що налипає на тканину в процесі фільтрування. На початку циклу фільтрування відбувається через тканину, в порах якої частинки осаду затримуються і створюють додатковий фільтруючий шар. При продовженні фільтрування цей шар збільшується і є головною частиною фільтрувального середовища, а призначення тканини зводиться до підтримки фільтруючого шару.

Таким чином, при фільтруванні відбуваються два процеси: протікання рідини через пористу масу і утворення пористої маси або шару осаду (кеку). Ці процеси безперервно змінюються, оскільки із збільшенням товщини шару кеку зменшується швидкість протікання рідини (фільтрату).

На основі теоретичних і експериментальних робіт багатьма дослідниками були запропоновані різні рівняння, що характеризують процес фільтрування суспензій. Найбільшої уваги з запропонованих формул заслуговує емпіричне рівняння Льюїса:

$$r_{cp} = r' \cdot p^{s'}, \quad (5.1)$$

де r_{cp} – середній питомий опір твердої фази суспензії, що відкладається на фільтрувальній перегородці в процесі фільтрування; r' – константа, характерна для даного осаду; p – тиск фільтрування; s' – показник стискуваності кеку.

Це рівняння включає питомий опір, запропонований Льюїсом, і виражає його залежність від тиску. Воно може бути використане для визначення показника стискуваності осаду (кеку) при фільтруванні. Однак деякі дослідники спостерігали відхилення від значень, отриманих за рівнянням (33). Тому Б. Рут запропонував більш складне рівняння, що дозволяє одержувати значення показника стискуваності з більшою точністю:

$$r_{cp} = r'' + ap^{s''}, \quad (5.2)$$

де r'' – коефіцієнт опору, сталий для даного осаду; a – експериментальна константа, характерна для даного осаду; s'' – показник

стискуваності. Рут, Монтільон і Монтонна проаналізували запропоновані рівняння і провели ряд досліджень з фільтрування суспензій, які потім були узагальнені Б. Ф. Рутом у вигляді наступного рівняння:

$$\eta dV / Fd\tau = p/R = p/r' + r_0, \quad (5.3)$$

де η – в'язкість фільтрату; V – об'єм фільтрату, що припадає на одиницю площі поверхні; F – площа поверхні фільтрування; τ – тривалість фільтрування; R – сумарний опір фільтрування, приведений до одиниці площі поверхні; r' та r_0 – питомий опір відповідно осаду та фільтрувальної перегородки, приведені до одиниці площі поверхні.

З рівних об'ємів однорідної суспензії, що мають однакові концентрацію і щільність осідає рівна кількість твердих частинок, тобто рівні обсяги фільтрату відповідають рівним масам кеку на фільтрі. Це дозволяє опір шару кеку виразити через відповідний об'єм фільтрату. При цьому опір фільтрувальної перегородки приймається рівним додатковому об'єму фільтрату, еквівалентному за опором додатковому шару кеку.

Після інтегрування і перетворення формули (5.3) для визначення питомого опору осаду можна представити її у вигляді:

$$r' = \frac{2F^2 p \cdot (1 - CШ)}{b' \eta \rho' C}, \quad (5.4)$$

де C – концентрація твердої фази в одиниці осаду, що фільтрується; $Ш$ – відношення маси кеку до маси сухої речовини осаду; $b' = (V + V_0)^2 / (\tau + \tau_0)$ – тут V_0 – об'єм фільтрату, приведений на одиницю площі поверхні, та який формує шар кеку, еквівалентний за опором фільтрувальній тканині; τ_0 – час, необхідний для отримання фільтрату об'ємом V_0 ; ρ' – густина фільтрату.

Питомі опори шарів кеку змінюються пропорційно зміні тиску: при збільшенні тиску питомі опори кеку збільшуються.

Якщо уявити, що загальний тиск p складається з тиску p_1 , що долає опір фільтрувальної перегородки до утворення кеку, і тиску p_2 , що долає опір кеку, то відповідно закону Дарсі можна написати:

$$dV / Fd\tau = p_2 / \eta r \delta + p_1 / \eta R, \quad (5.5)$$

де δ – товщина шару; R – початковий опір, приведений на одиницю площі поверхні для рідини, густина якої рівна одиниці.

Якщо кількість сухої речовини суспензії, приведеної на одиницю об'єму фільтрату, рівна C' , то $\delta = C'V/F$ або:

$$dV/d\tau = pF^2/\eta \cdot (r'C'V + RF). \quad (5.6)$$

Це рівняння виведено для нестискуваних матеріалів, структура і питомий опір яких при зміні тиску не змінюються. З рівняння (5.6) видно, що властивості осаду, що впливають на його водовіддачу, характеризуються питомим опором.

Залежність питомого опору від пористості може бути виражена формулою Козені-Кармана:

$$r = \frac{1}{\Phi} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{d_1^2 \cdot \varepsilon^3}, \quad (5.7)$$

де ε – пористість; Φ – коефіцієнт, що залежить від форми поперечного перерізу пор осаду, звивистості капілярів та густини; d_1 – діаметр капіляра.

Оскільки пористість ε – величина постійна для нестискуваних матеріалів, то для частинок з однаковими формою і розміром питомий опір можна обчислити теоретичним шляхом. Порівняння даних, обчислених за формулою (5.7), з даними, отриманими рядом дослідників дослідним шляхом для нестискуваних матеріалів, підтвердило справедливість формули Козені-Кармана.

Пористість стисливих матеріалів, до яких відносяться осади стічних вод, змінюється зі зміною тиску. Стиснений осад містить досить м'які частинки, які піддаються деформації у міру збільшення тиску. Проникність частинок пропорційна функції $\varepsilon^3 / (1 - \varepsilon)^2$. Тому для стисливих осадів невелика зміна пористості ε може викликати значну зміну проникності і призвести до зміни швидкості фільтрування. При фільтруванні під постійним тиском швидкість фільтрування обернено пропорційна товщині осаду (кеку). Якщо розглядати r як функцію p , то рівняння (5.7) можна використовувати також і для стисливих матеріалів. Якщо фільтрування відбувається під постійним тиском, то рівняння (5.7) справедливо також для стисливих матеріалів.

Якщо $RF/r'C'$ в рівнянні (5.6) позначити через V_0 , тобто об'єм фільтрату, одержуваний до встановлення постійного тиску і відповідний до початкового опору, то рівняння набуває вигляду:

$$dV/d\tau = pF^2/\eta r'C' \cdot (V + V_0). \quad (5.8)$$

Рівняння (5.8) це рівняння фільтрування при постійному тиску. Воно враховує як опір осаду, так і опір фільтрувальної перегородки, виражені в

одиницях об'єму фільтрату через V і V_0 . Якщо в рівнянні (5.8) перетворити величину C – кількість сухої речовини осаду, що припадає на одиницю об'єму фільтрату, у вираз $\rho C / (1 - CШ)$, то отримаємо рівняння фільтрування Рута (5.3). Отже, рівняння фільтрування можна назвати рівняннями Рута – Кармана.

Інтегруючи рівняння (5.8), отримаємо:

$$(V + V_0)^2 = b \cdot (\tau + \tau_0). \quad (5.9)$$

Рівняння (5.9) встановлює зв'язок між отриманим обсягом фільтрату і тривалістю фільтрування, а крива, що виражає цю залежність, набуває форми параболи. З рівняння (5.9) випливає:

$$b = (\tau + \tau_0) / (V + V_0)^2. \quad (5.10)$$

де τ_0 – час, необхідний для отримання об'єму фільтрату, необхідного для встановлення постійного робочого тиску (вакууму).

При експериментальній перевірці рівняння (5.10) рекомендується починати відліки часу вже після того, як відфільтрований об'єм перевищить об'єм V_0 і коли шар кеку буде мати достатню товщину. Зазвичай об'єм V_0 відповідає об'єму, отриманий при фільтруванні до встановлення постійного тиску. Знаючи параметр b , з рівняння (5.4) визначають питомий опір осаду.

З рівняння (5.8) випливає, що швидкість фільтрування залежить від концентрації твердої фази суспензії. Збільшення концентрації суспензії призводить в процесі фільтрування до збільшення швидкості утворення і товщини шару кеку на поверхні фільтрувального середовища, внаслідок чого в свою чергу збільшується опір і зменшується швидкість фільтрування. Однак збільшення швидкості утворення кеку веде до підвищення продуктивності фільтра.

З рівняння (5.8) також видно, що швидкість фільтрування може бути збільшена шляхом зменшення в'язкості фільтрату, яка, як відомо, є функцією температури. Підігрів суспензії з метою зменшення в'язкості фільтрату і відповідно збільшення швидкості фільтрування застосовується в хімічній та інших галузях промисловості.

Формули для визначення продуктивності вакуум-фільтрів і фільтр-пресів можна отримати теоретичним шляхом безпосередньо з рівнянь фільтрування Рута – Кармана. При виведенні формул передбачається, що фільтри працюють при достатній кількості осаду і систематичній регенерації фільтрувальної тканини, а процес фільтрування здійснюється під постійним тиском (вакуумом) без утворення тріщин в кеку.

При одному обертанні барабана вакуум-фільтра об'єм отриманого фільтрату складає:

$$V = \frac{F \cdot L \cdot M}{\rho} \cdot \left(\frac{W_M}{100 - W_M} - \frac{W_K}{100 - W_K} \right), \quad (5.11)$$

де F – площа фільтрування; L – продуктивність фільтра в розрахунку за сухою речовиною за одиницю часу; M – час одного обертання барабана вакуум-фільтра; та W_M та W_K – вологість вихідного осаду та кеку, %; ρ – густина осаду.

Якщо виразити тривалість дії вакууму як частину часу обертання барабана вакуум-фільтра, то:

$$\tau = m \cdot M / 100, \quad (5.12)$$

де m – час дії вакууму, % загальної тривалості фільтроциклу.

Приймаючи концентрацію осаду $C = (100 - W_M) / 100$ і підставляючи відповідне значення b , вираз для визначення питомого опору осаду отримаємо в наступному вигляді:

$$r = \frac{2 \cdot \rho \cdot F^2 \cdot m \cdot M \cdot 100 \cdot \rho^2}{100 \cdot F^2 \cdot L^2 \cdot M^2 \cdot \left(\frac{W_M}{100 - W_M} - \frac{W_K}{100 - W_K} \right)^2 \eta \cdot (100 - W_M) \cdot \rho}, \quad (5.13)$$

Після перетворення виразу (5.13) знайдемо продуктивність вакуум-фільтрів:

$$L = \frac{100 - W_K}{100 \cdot (W_M - W_K)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot m \cdot \rho \cdot (100 - W_M)}{\eta \cdot r \cdot M}}, \quad (5.14)$$

Якщо при визначенні питомого опору замість C визначають C' , то при підстановці відповідних значень отримаємо:

$$L = \rho \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot m \cdot (100 - W_M) \cdot (W_M - W_K)}{r' \cdot M \cdot \eta \cdot \rho' \cdot (W_M - W_K)}}, \quad (5.15)$$

Аналогічно до формул (5.14) і (5.15) виводиться рівняння для визначення продуктивності камерних та рамкових фільтр-пресів:

$$L_{\phi} = \frac{l'}{t_{\phi}} = \frac{0,14 \cdot t_{\phi} \cdot \rho' (100 - W_{\kappa})}{(W_{\text{м}} - W_{\kappa})} \cdot \sqrt{\frac{p \cdot t_{\phi} \cdot \rho}{\eta \cdot r}}, \quad (5.16)$$

де l' – маса сухої речовини кеку товщиною $h/2$, приведена на одиницю площі і отримана при фільтруванні осаду в камері фільтр-преса з відстанню між плитами h і фільтрацією в обидва напрямки.

Камерні і рамні фільтр-преси є фільтрами періодичної дії. Тривалість фільтрації при зневодненні на фільтр-пресах становить частину загальної тривалості фільтроциклу $t_{\text{ц}}$, складається з часу t_{ϕ} , що витрачається на фільтрацію, і часу $t_{\text{в}}$, що витрачається на допоміжні операції. Тому продуктивність фільтр-пресів за один фільтроцикл визначається за формулою:

$$L_{\text{ц}} = L_{\phi} \cdot t_{\phi} / t_{\text{ц}}. \quad (5.17)$$

Продуктивність вакуум-фільтра або фільтр-преса (або лабораторної воронки) може бути визначена також шляхом безпосереднього виміру маси кеку. У цьому випадку продуктивність фільтра за сухою речовиною обчислюється за формулою:

$$L = G \cdot (100 - W_{\kappa}) / 100 \cdot F \cdot t, \quad (5.18)$$

де G – маса кеку; W_{κ} – вологість кеку, %; F – площа фільтра; t – тривалість відбору проби (або продуктивність фільтроциклу лабораторної воронки).

Розрахунок продуктивності фільтра за сухою речовиною через вимірний об'єм фільтрату можна провести наступним чином: якщо об'єм вихідного осаду вологістю $W_{\text{м}}$ позначити V_1 , а об'єм фільтрату – V , то $V_1 \cdot (100 - W_{\text{м}}) = (V_1 - V) \cdot (100 - W_{\kappa})$, звідки:

$$V_1 = V \cdot \frac{(100 - W_{\kappa})}{(W_{\text{м}} - W_{\kappa})}, \quad (5.19)$$

Продуктивність фільтра за сухою речовиною осаду можна виразити через кількість зневодненого осаду за рівнянням:

$$L = V_1 \cdot (100 - W_{\text{м}}) \cdot \rho / 100 \cdot F \cdot t. \quad (5.20)$$

Підставивши значення V_1 з формули (5.19) у формулу (5.20), після відповідних перетворень отримаємо:

$$L = \frac{V \cdot (100 - W_M) \cdot (100 - W_K) \cdot \rho}{100 \cdot [(100 - W_K) - (100 - W_M)] \cdot F \cdot t} \quad (5.21)$$

При проектуванні цехів механічного зневоднення осадів на міських станціях аерації, що перебувають на стадії спорудження, коли отримати і випробувати осад буває важко, продуктивності вакуум-фільтрів і фільтр-пресів можуть бути призначені орієнтовно за аналогією з їх продуктивністю при механічному зневодненні відомих осадів. У цих випадках призначені при проектуванні показники продуктивності уточнюються в процесі проведення пусконаладжувальних робіт згідно з наведеними вище рекомендаціями [2-5].

5.2. Установки механічного зневоднення

Механічне зневоднення застосовують для зниження вологості осадів до величини, при якій забезпечуються оптимальні умови транспортування, утилізації або сушіння і спалювання осадів. Для зневоднення осадів застосовуються вакуум-фільтри, фільтр-преси, центрифуги або вібросита зазвичай з попередніми кондиціонування осадів.

Кондиціонування покращує властивості водовіддачі осадів, підвищує продуктивність зневоднюючих апаратів, знижує вологість зневоднених осадів і збільшує чистоту відокремлюваної води. Кондиціонування може проводитися за допомогою різних реагентів, шляхом теплової обробки осадів, а також шляхом заморожування і відтавання осадів.

Обробка реагентами полягає в коагуляції осадів солями заліза, алюмінію і вапном. Реагенти вводять в осад у вигляді 10%-них розчинів. Найбільш ефективним є хлорне залізо, вживане зазвичай у поєднанні з вапном. Доза хлорного заліза в середньому становить 3–9%, вапна – 8–25% (на суху речовину оброблюваного осаду). Вапно використовують не тільки в поєднанні з іншими реагентами, але і як самостійний коагулянт.

Останнім часом застосовують синтетичні (переважно катіонні) флокулянти в кількості 0,2–1,5%.

Якщо питомий опір осаду (r) вище $(1000-1500) \cdot 10^{-10}$ см/г, то перед коагулюванням осад піддається промивці. Кількість промивної води, $\text{м}^3/\text{м}^3$,

$$q = \lg(r \cdot 10^{-10}) - 1,8. \quad (5.22)$$

Перемішування осаду з промивною водою здійснюється протягом 15-20 хв в змішувачах, що аерують при витраті повітря $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ суміші.

Суміш осаду з промивною водою далі направляється в ущільнювач, розрахований на 12-18 год перебування рідини. Вологість ущільненого осаду 94-96%. Зливна вода з ущільнювачів містить 100-1500 мг/л завислих речовин і має $BCK_{повн} = 600-900$ мг/л. Схема промивання та кондиціонування осаду з наступним зневоднюванням на вакуум-фільтрі представлена на рис. 5.1.

Теплова обробка осадів проводиться в інтервалі температур 180–205°C і часу 0,5–2,0 год. У результаті впливу високої температури і тиску (1,5–2,0 МПа) змінюється структура і вологовіддача осаду: частина його (до 40%) переходить в розчинений стан, а залишок утворює щільні, добре ущільнені агрегати з питомим опором фільтрування $(5-30) \cdot 10^{-10}$ см/г. Забруднення мулової води орієнтовно становить по $BCK_{повн} = 8-10$ г/л і вона очищується в аеротенках або метантенках. Механічне зневоднення осадів після теплової обробки здійснюється переважно на фільтрпресах.

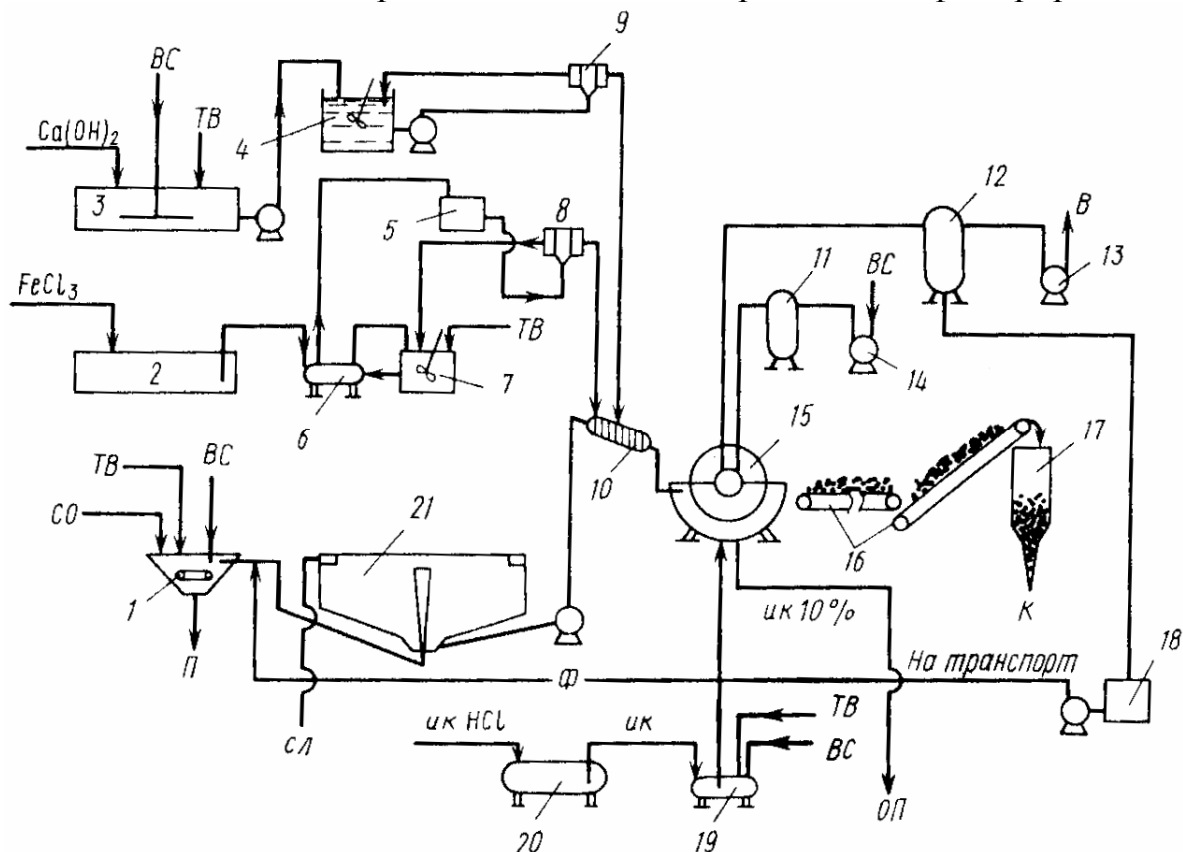


Рис. 5.1. Схема вакуум-фільтрації осаду з попередньою промивкою, ущільненням та реагентною підготовкою: 1 - промивна камера; 2 - ємність для зберігання $FeCl_3$; 3 - розчинний бак вапна; 4,5 - витратні баки; 6 - мірник; 7 - розчинний бак; 8,9 - дозатори; 10 - змішувачі; 11 - ресивер; 12 - ловушка фільтрату; 13 - вакуум-насос; 14 - повітредувка; 15 - вакуум-фільтр; 16 - транспортери; 17 - бункер для осаду; 18 - бак для фільтрату; 19 - розчинний бак; 20 - цистерна для зберігання інгібіторної сірчаної кислоти; в - вакуум; вс - повітря стиснене; ік - інгібіторна кислота; к - кек

з вакуум-фільтра; н - пісок; сл - зливна вода від мулоущільнювача; со - зброджений осад; тв - технічна вода; ф – фільтрат.

Заморожування і відтавання осадів призводять до різкого зниження питомого опору, що дозволяє зневоднювати осади механічним шляхом без попереднього коагулювання хімічними реагентами. При штучному заморожуванні оптимальні значення питомого теплового потоку складають 230 ... 700 Вт/м. Витрата електроенергії на 1 м³ осаду близько 50 кВт. (Метод не знайшов широкого використання.)

Для використання ефекту заморожування осаду в природних умовах при підсушування на мулових майданчиках товщина шару осаду перед настанням морозів не повинна перевищувати можливої для даного кліматичного району глибини промерзання. Мулові майданчики повинні мати водозливи для відведення води з поверхні при відтаванні осаду.

Вакуум-фільтри. Для зневоднення осадів використовують вакуум-фільтри з зовнішньою фільтруючою поверхнею: барабанні типу БсхОу (з полотном, що сходить), дискові типу ДУ і стрічкові типу ЛУ. Для зневоднення осадів міських стічних вод застосовуються безперервно діючі барабанні вакуум-фільтри, інші знайшли застосування для зневоднення осадів виробничих стічних вод.

Продуктивність вакуум-фільтра по сухій речовині осаду W , кг/(м²·год).

$$W = 0,24 \frac{100 - B_k}{B_H - B_k} \cdot \sqrt{\frac{p \cdot t \cdot \rho \cdot (100 - B_H)}{\eta \cdot T \cdot R}}, \quad (5.23)$$

де B_k , B_H – вологість вихідного осаду і кека, %; ρ – щільність вихідного осаду, т/м³; t – частка часу дії вакууму від загального циклу роботи фільтра, %; p – робочий вакуум, Па; η – в'язкість фільтрату, Па·с; T – період обертання барабана, хв; $R = r \cdot 10^{-10}$ – питомий опір осаду, см/г.

Основні технічні характеристики барабанних вакуум-фільтрів наведено в табл. 5.1. Схема фільтра дана на рис. 5.2.

Величина вакууму приймається в межах $(40-65) \cdot 10^{-3}$ Па, кількість повітря, що відсмоктується – 0,5 м³ хв на 1 м² поверхні. Тиск стисненого повітря на обдуванні осаду 20–30 кПа, витрата 0,1 м³/хв на 1 м² поверхні. Доза реагентів при обробці осадів міських стічних вод, вологість вихідного і зневодненого осаду, а також питома продуктивність вакуум-фільтрів наведено в табл. 5.2. Фільтрувальна тканина виготовляється з капрону (арт. 56023, 56126, 56159, 56026). Для запобігання забивання при експлуатації вона періодично регенерується 8–10%-им розчином інгібованої соляної кислоти. Термін служби фільтрувальної тканини

800–1200 год. Розміри типових корпусів з вакуум-фільтрами наведені на рис. 5.2.

Таблиця 5.1. Основні параметри роботи вакуум-фільтрів і фільтр-пресів

Характеристика осаду	Вихідна вологість осаду, %	Кількість реагенту до маси сухої речовини осаду, %		Продуктивність, кг сухої речовини осаду на 1 м ² поверхні фільтра за 1 год		Вологість кека, %	
		FeCl ₃	CaO*	вакуум-фільтрів	камерних фільтрів-пресів	При вакуум фільтру-ванні	При камерному фільтр-пресуванні
Зброджений осад з первинного відстійника	94	3...4	8...10	25...35	12...17	75...77	60...65
Сирий осад з первинного відстійника	95	1,5...3	6...10	30...40	12...16	72...75	55...60
Суміш сирого осаду із первинних відстійників ущільнення активного мулу	96,6	3...5	9...13	20...30	5...12	75...80	62...75
Ущільнений активний мул із аеротенків	97,5	6...9	17...25	8...12	2...7	85...87	80...83
Зброджена в мезофільних умовах суміш осаду первинних відстійників і активного мулу, аеробно стабілізований активний мул	95,5	4...6	12...20	20...25	10...16	78...80	62...68

*При зневодненні осаду на камерних фільтр-пресах доза вапна приймається на 30% більша.

Фільтр-преси рекомендується застосовувати в схемах, де кінцевою стадією обробки є сушка, спалювання або утилізація, при яких потрібне отримання осадів з можливо низькою вологістю. За принципом дії фільтр-преси бувають періодичної і безперервної дії. До першого типу відносяться розсувні.

Фільтр БсхОУ-20-2,6 намічений до виробництва (розміри дані для фільтра Боу-20-2, 6).

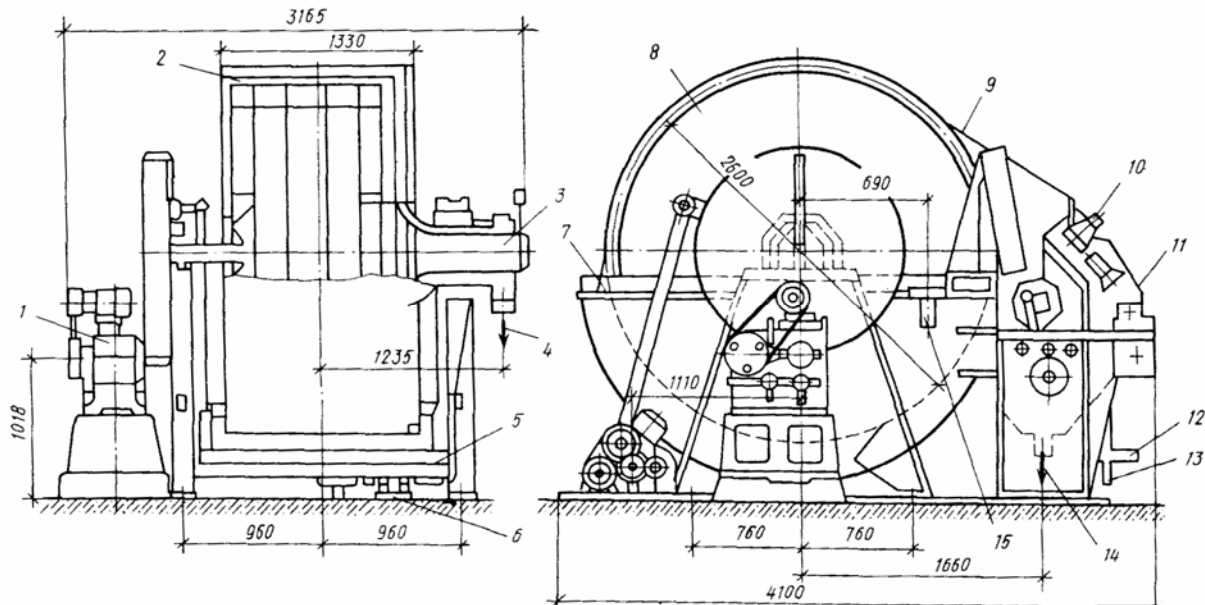


Рисунок 5.2. Вакуум-фільтр марки БсхОУ-10-2,6: 1 - привід; 2 - перфороване сито; 3 - розподільна коробка; 4 - вакуумна лінія; 5 - мішалка; 6 - зливний патрубок; 7 - корито; 8 - барабан; 9 - фільтрувальна тканина; 10 - прилад для знімання осаду; 11 - подача стисненого повітря; 12 - подача промивної води; 13 - подача кислоти; 14 - відвід промивних розчинів; 15 - привід мішалки.

Таблиця 5.2 – Технічна характеристика вакуум-фільтрів

Показники	Марка фільтра			
	БсхОУ-5-1,75	БсхОУ-10-2,6	БсхОУ-20-2,6*	БсхОУ-40-3,4
Площа поверхні фільтрування, м ³	5	10	20	40
Діаметр барабана, мм	1750	2600	2600	3400
Довжина барабана, мм	1000	1330	2700	3800
Частота обертання барабана, хв. ⁻¹	0,108...2,05	0,13...1,5	0,13...2	0,1...1,45
Потужність електро-двигуна природу барабана, кВт	1,1	1,7	3	5,5
Великі розміри, мм	2600×2960×2540	3165×4100×3052	4750×3230×3830	6300×5115×3725
Маса, кг	4990	7600	14432	17432

Продуктивність стрічкових фільтр-пресів при використанні катіонного флокулянту в кількості 4 кг/т сухої речовини осаду досягає 12м³/год за зневодненим осадком. Вологість вихідного осаду (суміш сирого осаду і активного мулу) 96,5%. кека78%.

Рамні фільтр-преси (рис. 5.3), до другого типу – стрічкові фільтр-преси (рис. 5.4). Основні параметри роботи фільтр-пресів наведено в табл. 5.1, технічна характеристика – в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Технічна характеристика фільтр-пресів

Марки пресів	Показники			
	Площа поверхні фільтрування, м ²	Робочий тиск, МПа	Ширина фільтрувальної тканини, мм	Великі розміри, мм
Рамкові (камерні)				
ФПАКМ-2,5У	2,5	1,2	700...750	2660×1760×2750
ФПАКМ-5У	5	1,2	845...920	3375×2000×2780
ФПАКМ-10У	10	1,2	845...920	3375×2000×3525
ФПАКМ-25У	25	1,2	1100...1200	3780×2150×4240
ФПАКМ-50У	50	1,2	1450	5000×2930×5500
ФПАВ-100	100	1	1600	9500×3000×3400
ФПАВ-300	300	0,8	1600	1430×3000×4200
Стрічкові				
Стр-10-1,2Р-001*		0,4	1500	

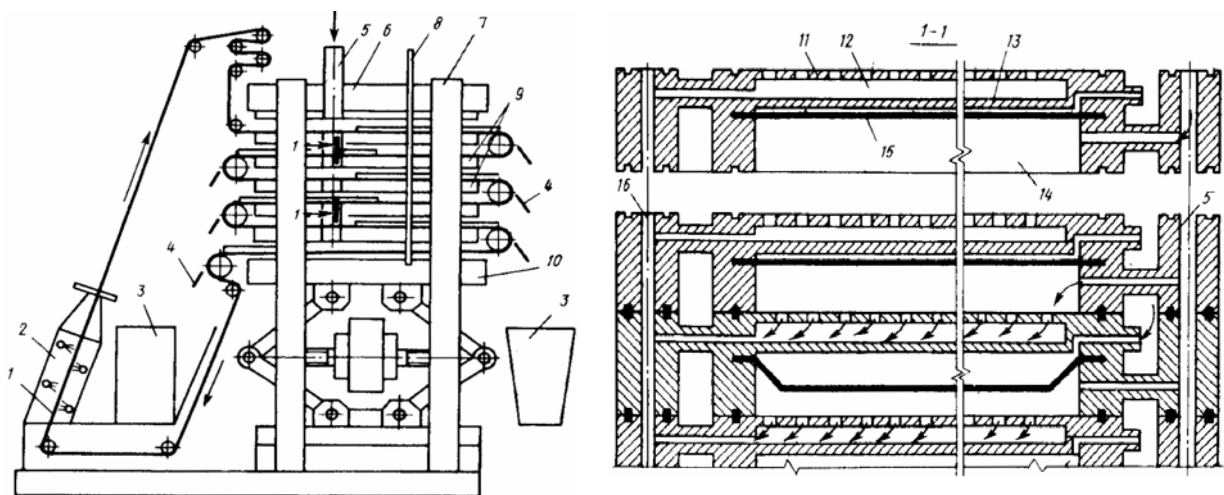


Рисунок 5.3. Фільтр-прес типу ФПАКМ (під час вивантаження зневодненого осаду):

1 - фільтрувальна стрічка; 2 - камера регенерації фільтрувальної стрічки; 3 - бункер; 4 - ніж для знімання осаду; 5 - направляючий колектор; 6 - верхня опорна плита; 7 - направляючі; 8 - колектор для подачі води на діафрагму; 9 - середні фільтрувальні плити; 10 - нижня нажимна плита; 11 - перфорована перегородка; 12 - піддон; 13 - глуха горизонтальна перегородка; 14 - нижня відкрита частина; 15 - діафрагма; 16 - колектор для відводу фільтрату.

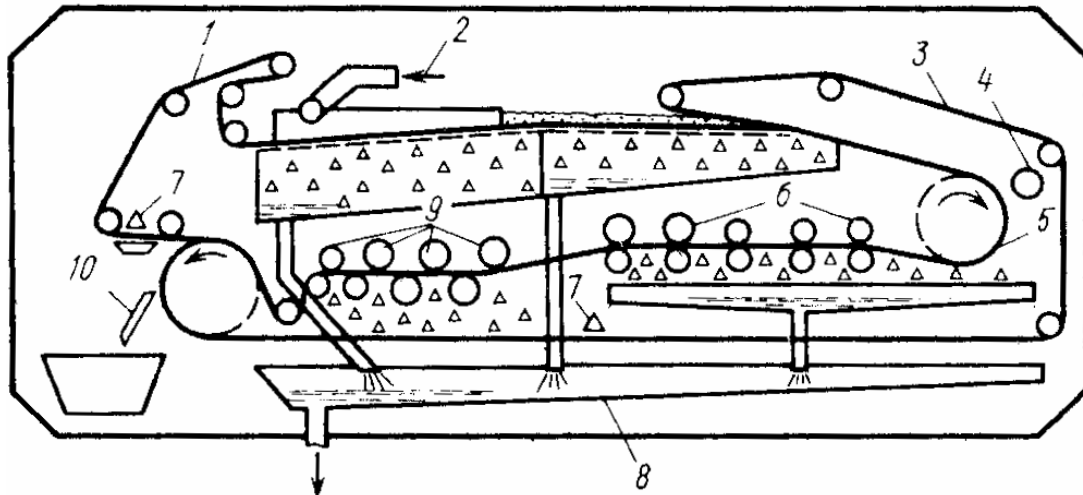


Рисунок 5.4. Схема стрічкового фільтр-преса ДПР-10-1,2Р-001

Типові корпуси зневоднення осадів з 4 – або 6-стрічковими фільтр-пресами (рис. 5.5) мають продуктивність по сухій речовині відповідно 38 або 50 т/добу.

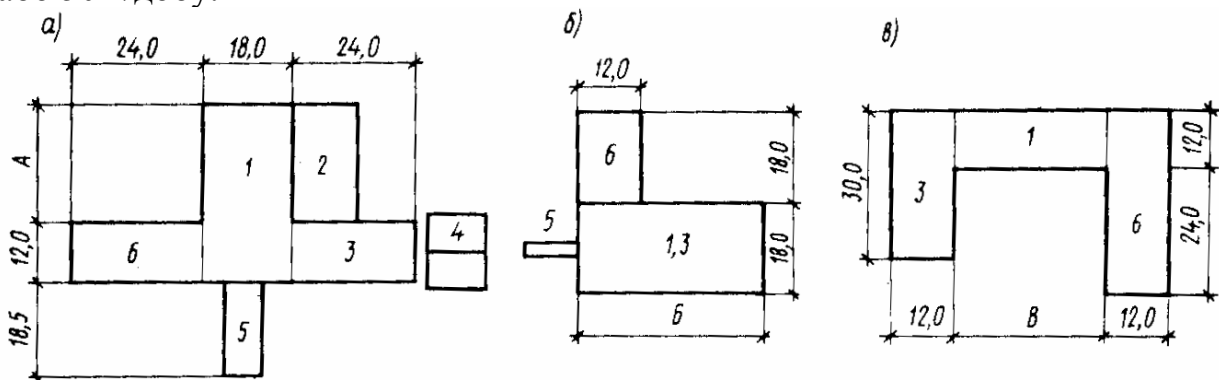


Рисунок 5.5. Розміри корпусів механічного зневоднення

5.3. Зневоднення осадів на барабанних вакуум-фільтрах

Метод зневоднення зброженої суміші осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу на барабанних вакуум-фільтрах вперше здійснено і вивчено на Кур'янівській станції аерації в Москві; згодом він був застосований на Люберецькій і Щелковській станціях аерації, а потім на станціях аерації міст Могильова, Дніпропетровська, Білої Церкви та ін. Зневодненню передують промивка зброженого осаду очищеною стічною рідиною з подальшими ущільненням і коагуляцією хімічними реагентами. Зневоднення сирих осадів на барабанних вакуум-фільтрах зі східним полотном провадиться на станціях аерації міст Орехово-Зуєва, Клину, Воскресенська, Мінська, та ін. Зневодненню сирих осадів передують лише коагуляція їх хімічними реагентами.

Вакуум-фільтри застосовуються також для зневоднення осадів і шламів виробничих стічних вод. Для безперебійної роботи вакуум-фільтрів товщина шару кеку при зневодненні осаду на них або на зануреній воронці повинна досягати не менше 5 мм протягом 4 хв. Барабанні вакуум-фільтри – автоматичні, безперервно діючі механізми (рис. 5.5). Барабанний вакуум-фільтр складається з горизонтально розташованого циліндричного порожнього барабана, частково (на 35 – 40%) зануреного в корито з фільтрувальною суспензією. Барабан обертається на валу, один кінець якого з'єднаний з приводом електродвигуна, а інший має порожнисту цапфу. Бічна поверхня барабана має перфорований ободок, розділений на ряд сит.

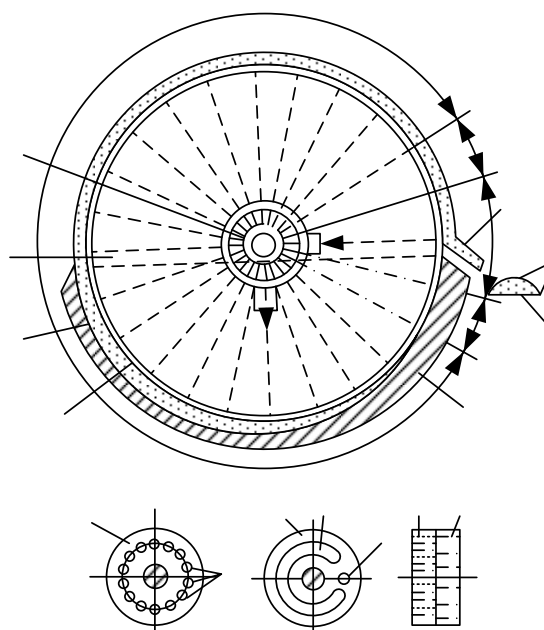


Рис. 5.5 Схема пристрою барабанного вакуум-фільтра (а) та схема шайб розподільчої головки вакуум-фільтра (б): 1 – обертальний перфорований барабан; 2 – корито фільтра; 3 – секція барабана; 4 – вихід трубок секцій до розподільчої головки; 5 – ніж для зняття кеку; 6 – кек; 7 – конвеєр для кеку; 8 – осад для зневоднення; 9 – патрубок для відведення фільтрату (водоповітряної суміші); 10 – патрубок подачі стисненого повітря; 11, 12 – відповідно рухома (обертальна) та нерухома шайби розподільчої головки; 13, 14 – щілини для з'єднання рухомої шайби відповідно з лінією вакууму та стисненого повітря; 15 – отвори для з'єднувальних трубок.

При роботі вакуум-фільтра бічна поверхня барабана обтягується фільтрувальною тканиною. Внутрішня порожнина барабана розділена по колу на ряд відмежованих одна від одної секцій, з яких має свої відповідні трубки. Трубки секцій розташовані всередині барабана і кінцями виходять в торцеву поверхню порожнистої цапфи барабана, куди

встановлюється розподільна головка фільтра. Розподільна головка складається з корпусу і розташованих у ньому двох шайб: рухомої 11 і нерухомої 12. Рухома шайба 11 встановлюється на торцевій поверхні цапфи барабана, обертається разом з ним і має отвори, число яких відповідає числу трубок у секціях. Нерухома шайба 12 має щілину 13, що з'єднується з лінією вакууму, і щілина 14, що з'єднується з лінією стисненого повітря. У роботі рухома (коміркова) 11 і нерухома (розподільча) 12 шайби встановлюються торцями одна до одної. Щоб уникнути прориву вакууму між торцями контактні поверхні рухомої і нерухомої шайб повинні бути пришліфованими.

При обертанні барабана фільтра частина його поверхні занурюється в зневоднений осад. Фільтрат під дією вакууму проходить через фільтрувальну тканину всередину секцій барабана і по патрубку відводиться в ресивер, а кека затримується на поверхні фільтрувальної тканини. Отвори 15 в рухомій шайбі 11 при обертанні барабана почергово з'єднуються зі щілинами 13 і 14 нерухомої шайби 12, завдяки чому секції барабана знаходяться то під вакуумом, то під віддувкою. Відповідно цьому в секціях барабана утворюються зони вакууму I та віддувки III, а також нейтральні зони II, необхідні для переходу від зони вакууму до зони віддувки і від зони віддувки до зони вакууму. Зневоднений осад (кека) знімається в зоні віддувки ножем, падає на конвеєр, яким перевантажується в спеціальні бункери. Таким чином, за один оборот барабана відбувається безперервне автоматичне чергування процесів утворення кеку, його підсушування і розвантаження.

В описуваній схемі під час запуску вакуум-фільтрів з великою площею поверхні фільтрації відбувається значне нераціональне відсмоктування повітря через верхню частину зони вакууму I, повільно утворюється необхідний шар осаду і можливе замулювання фільтрувальної тканини. Щоб уникнути цього на корпусі розподільчої головки монтують дві вакуумні лінії, устатковані засувками, а в нерухомій шайбі влаштовуються дві зони вакууму (рис. 5.6). У цьому випадку при запуску вакуум-фільтра відкривається засувка на нижній вакуумній лінії, завдяки чому шар осаду утворюється лише в нижній частині барабана фільтра, зануреної в корито, а відсмоктування повітря з верхньої частини не відбувається. Після того як барабан зробить повний оборот, відкривається засувка на верхній вакуумній лінії і подальший процес протікає безперервно (при відкритих обох засувках), як описано вище. За засувками обидві вакуумні лінії об'єднуються в одну.

У барабанних вакуум-фільтрах із східним полотном регенерація фільтрувальної тканини може проводитися безперервно без виключення вакуум-фільтрів. Ця обставина особливо важлива, якщо на вакуум-фільтрах зневоднюються сирі осади, а також осади виробничих стічних вод, які швидко замулюють фільтрувальну тканину.

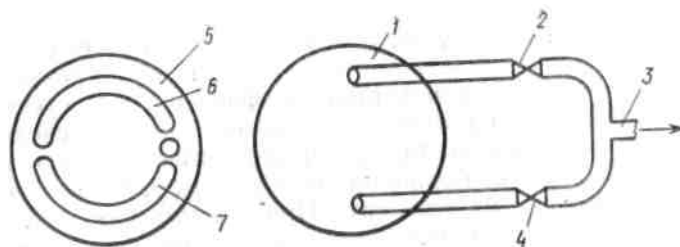


Рис. 5.6 Схема приєднання розподільчої головки до вакуумної лінії у вакуум-фільтрах з площею поверхні фільтрації 40 м^2 : 1 – корпус розподільчої головки; 2, 4 – вакуумні лінії від верхньої та нижньої зони нерухокої шайби розподільчої головки; 3 – вакуумна лінія до ресивера; 4 – нерухома шайба розподільчої головки; 6, 7 – зони вакууму відповідно верхня та нижня.

Вакуум-фільтри зі східним полотном, що випускаються закордонними фірмами “Комлайн-Сендерсон”, “Еймко”, “Петерсон”, “Дорр-Олівер” (США), “Краус Маффей Імперіал” (ФРН), “Філіп” (Франція), “Кусунокі Кікай” (Японія) та ін., відрізняються способами фіксації і конструкцією фільтрувального середовища, а також конструкціями пристроїв для регенерації фільтрувальної тканини (середовища).

Серійно в нашій країні випускаються вакуум-фільтри зі східним полотном типу БсхОУ з вуглецевої сталі мають площу поверхні фільтрації 5; 10; 20 і 40 м^2 ; планується випуск вакуум-фільтрів з площею поверхні 80 м^2 . Загальний вигляд вакуум-фільтра зі східним полотном показано на рис. 5.7.

Найбільше застосування на міських станціях аерації отримали барабанні вакуум-фільтри зі східним полотном площею поверхні фільтрації 40 м^2 . Технічна характеристика випущених в даний час заводом Уралхіммаш фільтрів типу БсхОУ-40-3,0 наведена нижче.

Технічна характеристика фільтрів типу БсхОУ-40-3,0	
Площа поверхні фільтрування, м^2	40
Діаметр барабана, м	3
Частота обертання барабана, хв^{-1}	0,1 – 1
Кут занурення барабана в корито, °	130
Потужність, кВт, двигунів приводу:	
барабана	2,8
мішалки	3,0
регулювального ролика	0,6
Розміри, мм:	
загальна довжина з приводами і патрубками	6630
ширина з вузлом регенерації	3920
висота	3330

Поставляються вакуум-фільтри у вигляді окремих вузлів, що складаються з барабана в зборі масою 4,6 т, корпусу з мішалкою масою 2,69 т; упакованих в ящики привід барабана, підшипник розподільчої головки, ролики та запчастини загальною масою з тарою близько 1 т. Маса осаду, що заливається в корито, становить 10 м^3 .

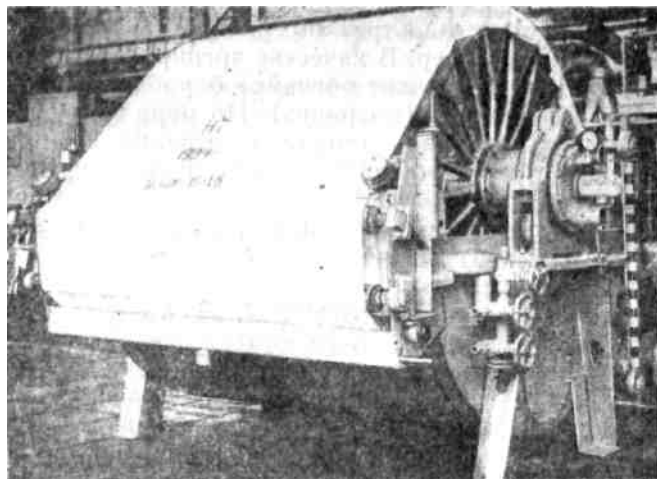


Рис. 5.7 Загальний вигляд барабанного вакуум-фільтра зі східним полотном

Вакуум-фільтр зі східним полотном працює наступним чином (рис. 5.8). У корито фільтра безперервно подається попередньо скоагульований осад. При зануренні обертового барабана в корито осад під дією вакууму підсмоктується до поверхні фільтрувальної тканини. При виході барабана з корита осад, що утворився, під дією вакууму підсушується. Фільтрат під дією вакууму безперервно віддаляється в ресивер. В якості дренажної основи фільтрувальної тканини служить ободок барабана, виконаний з поліпропіленових сит (матраців). За мірою обертання барабана фільтрувальна тканина разом з осадом переходить на систему роликів (регенераційний вузол). Кек, що утворився на поверхні фільтрувальної тканини, при проходженні останньої через віддувально-розвантажувальний ролик прагне йти по дотичній і знімається ножом. Для полегшення зняття кеку та зменшення засмічення тканини перед підходом до ножа може проводитися віддувка тканини повітрям, що поступає з віддувально-розвантажувального ролика. Після зняття осаду фільтрувальна тканина промивається з двох сторін водою, що подається з насадок 9 і 12. У деяких випадках фільтрувальна тканина додатково може очищатися щіткою, що обертається в напрямку, протилежному руху тканини, при одночасному додатковому промиванні тканини водою, що подається в трубопровід зі щілиною. Промивна вода потрапляє в жолоб, розташований під роликками, і відводиться в каналізацію. На великих вакуум-фільтрах у віддувально-розвантажувальному ролику замість

щілини передбачається перфорація. Очищена тканина за допомогою ролика повертається на поверхню барабана, після чого фільтроцикл повторюється. На вітчизняних вакуум-фільтрах щітки відсутні, натяжним є ролик, а фіксація положення фільтрувальної тканини здійснюється автоматично за допомогою ролика з ввігнутою віссю (ширителя). Ширитель дуговий і ролик регулювальний облицьовані гумовими рукавами, що покращує розгладження складок, центрування тканини і зменшує її зношування.

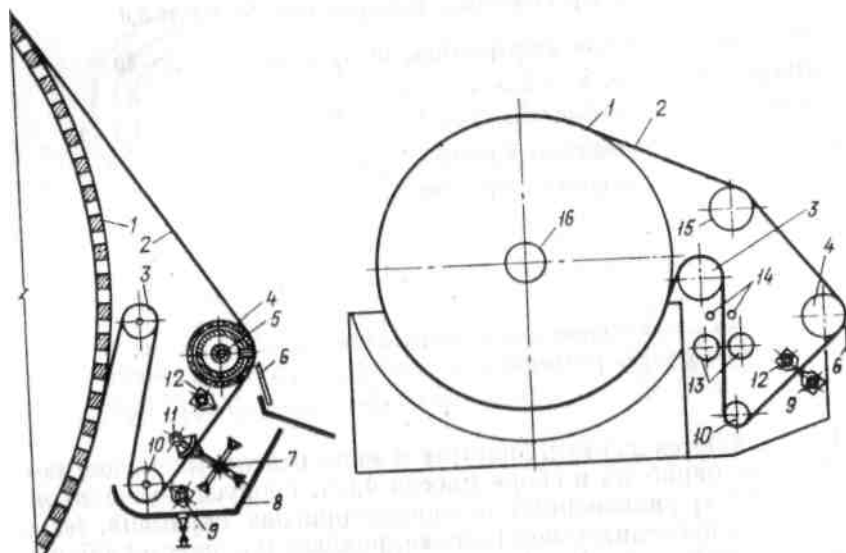


Рис. 5.8 Схема регенераційного вузла вакуум-фільтра зі східним полотном: 1 – барабан фільтра; 2 – фільтрувальна тканина; 3 – обертовий ролик; 4 – віддувально-розвантажувальний ролик; 5 – повітропровід; 6 – ніж; 7 – щітки; 8 – жолоб промивної води; 9, 12 – насадки; 10 – натяжний ролик; 11 – труба з щілиною для промивки тканини; 13 – гумовані ролики для хімічної регенерації тканини; 14 – труби з отворами; 15 – центрувальний ролик; 16 – розподільча голівка фільтра.

При недостатній регенерації фільтрувальної тканини в систему розбризкувачів замість води може подаватися інгібована соляна кислота. Вакуум-фільтри можуть оснащуватися також трубами з отворами для додаткового промивання тканини або крапельницею інгібованої соляної кислоти в поєднанні з гумованими роликами.

Для зневоднення осадів стічних вод повинні застосовуватися барабанні вакуум-фільтри зі східним полотном з ножовим зняттям осаду. Краще зняття кеку забезпечується при установці розвантажувального ролика таким чином, щоб фільтрувальна тканина змінювала напрямок руху та осад сам від неї відокремлювався.

У комплект поставки вакуум-фільтрів, крім самих фільтрів, електродвигунів і редукторів, входять вакуум-насоси, повітродувки, ресивери інерційно-гравітаційного типу, мішалки перемішування осаду в кориті вакуум-фільтра, а також ножі, вакуумметри, манометри,

вентиляційні зонти та інше обладнання за переліком, погодженим між замовником і підприємством-виробником. Вакуум-фільтри з допоміжним обладнанням можуть розміщуватися на одному або двох поверхах.

На рис. 5.9 показані схеми установки барабанних вакуум-фільтрів з допоміжним обладнанням. Осад, що підлягає зневодненню, з резервуара фекальними, плунжерними або пісковими насосами подається в резервуар-дозатор витрати осаду. Резервуар обладнується автоматичними датчиками, що включають і відключають насос, або переливом для підтримки постійного рівня осаду, що з'єднуються трубопроводом з резервуаром осаду. З резервуара-дозатора скоагульований хлористим залізом і вапном осад направляється через змішувач на вакуум-фільтр. Для скорочення витрати реагентів коагуляцію осаду доцільно здійснювати безпосередньо перед зневодненням. Надлишок осаду по переливній трубці з корита фільтра відводиться по трубопроводу до резервуара. Корито вакуум-фільтра обладнується трубопроводом із засувкою.

Зневоднений осад під дією стисненого повітря відділяється від поверхні фільтрувальної тканини і потрапляє на конвеєр, яким подається на подальшу обробку або в бункер зберігання. Фільтрат під дією вакууму, що створюється вакуум-насосами, відсмоктується з вакуум-фільтрів в ресивери. У ресиверах відбувається поділ водоповітряної суміші, при цьому повітря відсмоктується вакуум-насосами, а фільтрат безперервно або періодично перекачується відцентровими насосами (рис. 5.5, а) або відводиться самопливом через барометричну трубу (рис. 5.5, б) в каналізацію. В останньому випадку ресивер може встановлюватися вище вакуум-фільтрів, при цьому відстань від головки фільтра до приєднання трубопроводу від фільтра до ресивера не повинно перевищувати 4 м, так як при збільшенні цієї висоти енергетичні витрати можуть бути вище, ніж при перекачуванні фільтрату насосом. Трубопровід приєднання вакуум-фільтрів до ресивера повинен мати ухил у бік вакуум-фільтрів, при цьому не повинно бути петелькових ділянок. При відкачуванні фільтрату насосом ресивер повинен обладнуватися пристроєм, що оберігає його від переповнення або повного спорожнення, або датчиками рівня для включення і виключення насоса. При цьому висота стовпа рідини у всмоктувального штуцера насоса повинна бути не менше 2 м, а відстань від осі вакуум-фільтра до вхідного штуцера ресивера не менше 200 мм. Якщо гідравлічний засув не передбачений, то щоб уникнути підсосу повітря на напірній лінії встановлюватись зворотний клапан [3, 17-23].

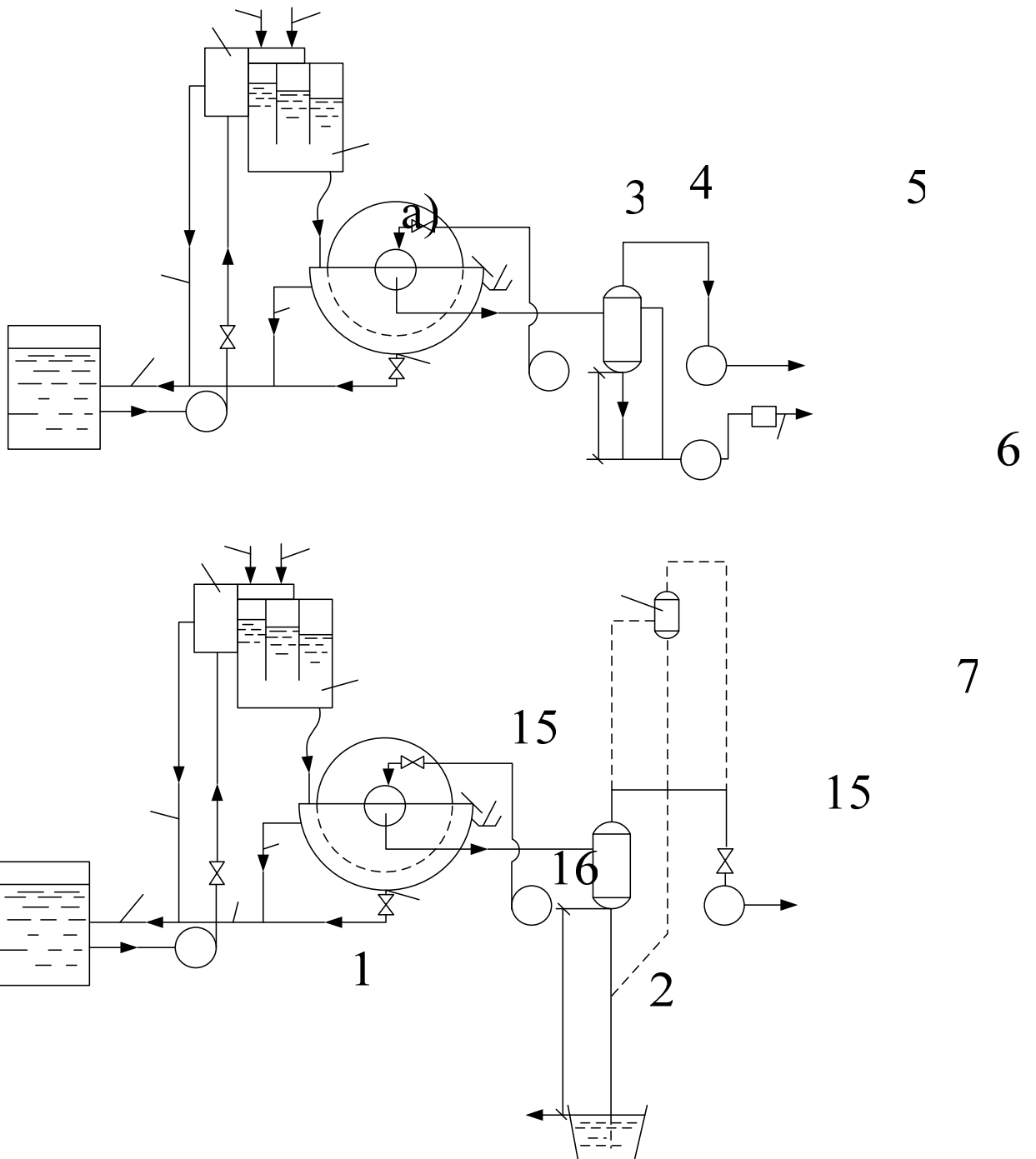


Рис. 5.9 Схеми установки вакуум-фільтрів з допоміжним обладнанням: а, б – при відведенні фільтрату відповідно насосами і самопливом; 1 – резервуар; 2 – насос для перекачування осаду; 3 – резервуар-дозатор осаду та хімічних реагентів; 4 – подача розчину хлористого заліза; 5 – подача вапнякової суспензії; 6 – змішувач; 7 – барабанний вакуум-фільтр; 8 – транспортер зневодненого осаду; 9 – ресивер; 10 – вакуум-насос; 11 – відвід фільтрату в каналізацію; 12 – насос для відкачування фільтрату; 13 – повітровіддувка; 14 – трубопровід для спорожнення корита фільтра; 15 – переливна труба; 16 – трубопровід для відведення осаду в резервуар; 17 – вловлювач.

На рис. 5.10 наведена схема пристрою ресивера, який всередині розділяється перегородкою, що не доходить до дна, на дві нерівні частини – розподільчу 6 і очисну 7 зони.

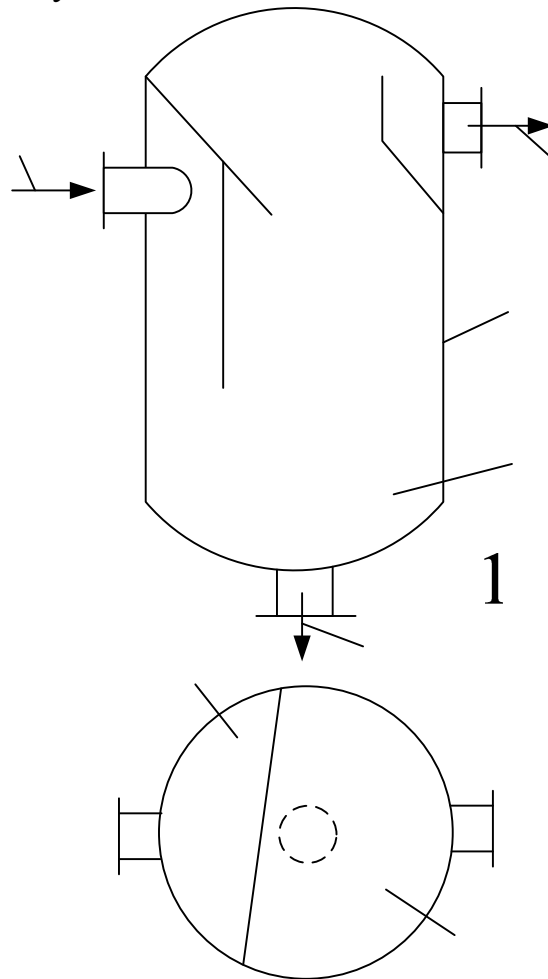


Рис. 5.10 Схема ресивера: 1 – надходження водоповітряної суміші від вакуум-фільтрів; 2 – приєднання до лінії вакууму (штуцер може бути розташований зверху); 3 – герметичний циліндричний резервуар; 4 – ємність для фільтрату, одержуваного за 30 – 60 с; 5 – відведення фільтрату; 6, 7 – розподільча та очисна зона відповідно.

Вибір розміру ресивера здійснюється за величиною максимальної витрати водоповітряної суміші, що проходить через очищувальну зону зі швидкістю 1 м/с. При цьому відношення площ поперечного перерізу розподільчої і очисної зон приймається рівним 1 : 4. Допустима швидкість повітря в проході між перегородкою і рівнем рідини приймається до 1,5 м. Серійно випускаються ресивери об'ємом 0,4; 1; 1,6; 2,5 та 4 м³, що мають діаметр відповідно 0,7; 0,9; 1; 1,2 і 1,4 м. Для зменшення числа резервних вакуум-насосів і поліпшення регулювання відсмоктування, вакуум-насоси доцільно з'єднувати паралельно, щоб отримати можливість обслуговування кожного вакуум-фільтра кожним вакуум-насосом.

Відсмоктуване з ресивера повітря містить зазвичай рідина у вигляді дрібних крапель, яка може потрапляти в вакуум-насоси. Якщо в установці застосовуються вологоповітряні вакуум-насоси, то попадання в них фільтрату істотно не позначається на їх роботі, завдяки чому вони можуть приєднуватися безпосередньо до ресиверів. Якщо ж в установці використовуються сухі вакуум-насоси, то для уловлювання крапель фільтрату обов'язковою є установка вловлювачів. В останньому випадку вакуум-насоси з'єднуються з ресиверами через вловлювачі (варіант установки вловлювача показаний пунктиром на рис. 5.10).

Як вже зазначалося, фільтрат з ресиверів може відводитися як насосами, так і самопливом. При відкачуванні фільтрату відцентровими насосами висота установки ресивера h_1 , м, від його дна до осі насоса може бути визначена за формулою:

$$h_1 = 10^{-4} \cdot p - h + \delta + 1. \quad (5.24)$$

Якщо є можливість відводити фільтрат самопливом, то висота установки ресивера H , м, від його дна до рівня води в баку-збірнику фільтрату (див. рис. 5.9, б) може бути визначена за формулою:

$$H = 10^{-4} \cdot p + \delta + 1, \quad (5.25)$$

де p – максимальний робочий вакуум, Па; h – висота всмоктування насоса, м; δ – втрати напору по довжині всмоктувального трубопроводу, м.

При відведенні фільтрату самопливом бак-збірник фільтрату повинен мати резервний об'єм, який служить для заповнення рідиною трубопроводу при пуску вакуум-насосів і оберігає від проникнення повітря у вакуумну лінію. При першому пуску вакуум-насосів (після монтажу) бак-збірник фільтрату заливається водою.

Об'єм збірника фільтрату Q , м³, (від його дна до низу труби, що відводить фільтрат) можна визначити за формулою:

$$Q = \omega l + 0,1V + g, \quad (5.26)$$

де ωl – об'єм трубопроводу між збірником фільтрату та ресивером, м²; V – об'єм ресивера, м³; g – мінімальний об'єм рідини, що залишається в бакові при пуску вакуум-насосів та запобігає пропусканню повітря до вакуумної лінії, м³.

Значення g визначається з умови занурення трубопроводу всмоктувальної лінії на 0,2 м нижче дзеркала води. Якщо вважати, що від

низу труби до дна бака повинен залишатися проміжок, рівний також 0,2 м, то $g = 0,4 b$ (де b – площа бака-збірника фільтрату).

У зв'язку з різними значеннями питомого опору осадів продуктивність вакуум-фільтрів на різних станціях може змінюватися в широких межах. Огляд зарубіжної літератури та вітчизняного досвіду експлуатації показує, що в залежності від типу і властивостей осадів продуктивність вакуум-фільтрів на діючих станціях коливається від 5 до 60 кг/(м²·год) за сухою речовиною осаду. При використанні формул (5.24) і (5.25) на практиці можна виразити: p – в мм рт. ст., $R = r \cdot 10^{-10}$ см/г, $R' = r' \cdot 10^{-10}$ см/г, M – в хвилинах, ρ – в т/м³, η_0 – в СПз; ввівши відповідні перевідні коефіцієнти, отримаємо наступні формули для визначення продуктивності вакуум-фільтрів, кг/(м²·год), за сухою речовиною:

$$L = 0,24 \cdot \left(\frac{100 - W_k}{W_m - W_k} \right) \cdot \sqrt{\frac{m \cdot p \cdot \rho \cdot (100 - W_m)}{\eta_0 \cdot M \cdot R}}, \quad (5.27)$$

$$L = 0,24 \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{m \cdot p \cdot (100 - W_m) \cdot (100 - W_k)}{\eta_0 \cdot \rho' \cdot M \cdot R' (W_m - W_k)}}. \quad (5.28)$$

У зв'язку с тим, що значення C та C' скорочуються з відповідними їм значеннями, які входять до величин R і R' , при зневодненні осадів міських стічних вод продуктивності, розраховані за формулами (5.27) і (5.28), виходять рівними.

Для розрахунку продуктивності вакуум-фільтрів при зневодненні осадів міських стічних вод доцільно користуватися формулою (5.27), так як в цьому випадку значно спрощується визначення питомого опору осаду.

При зневодненні осадів і шламів виробничих стічних вод можуть бути істотні розбіжності між фактичною продуктивністю вакуум-фільтра і його продуктивністю, розрахованою за формулою (5.27). Це пояснюється тим, що осади і шлами виробничих стічних вод характеризуються більш широким діапазоном зміни вихідної вологості та вологості кеку, ніж осади міських стічних вод, і відрізняються від них щільністю, в'язкістю і зв'язком між частинками. Крім того, зі зміною концентрації осадів і шламів виробничих стічних вод питомий опір може знижуватися або зростати непропорційно збільшенню або зниженню фактичної продуктивності вакуум-фільтрів. Тому більш точні дані при зневодненні осадів і шламів виробничих стічних вод можуть бути отримані при використанні формули (5.28).

Вхідні у рівняння (5.27) і (5.28) параметри осадів і режиму роботи вакуум-фільтрів дозволяють оцінити їх вплив на процес фільтрування.

Так, наприклад, зміна тривалості обороту барабана вакуум-фільтрів з 1,5 до 8 хв може знизити продуктивність вакуум-фільтрів в 2,3 рази, якщо інші величини, що входять у рівняння, залишаються незмінними. Зниження вологості вихідного осаду з 98 до 92% може збільшити продуктивність вакуум-фільтра в 2,5 – 2,8 рази, якщо вологість кеку становить 70 – 75%. а інші величини постійні. При збільшенні вологості кеку з 75 до 85% продуктивність фільтра збільшується в 1,5 рази. Так як параметри, що входять в рівняння (5.27) і (5.28), взаємопов'язані, то при виборі їх оптимальних значень необхідно виходити з властивостей конкретного осаду, що підлягає зневодненню.

Вище зазначалося, що осад стічних вод відносяться до стисливих матеріалів, які у міру збільшення тиску можуть деформуватися, у зв'язку з чим зменшується їх пористість, а отже, збільшується питомий опір. Разом з тим при вакуум-фільтрації швидкість водовіддачі осадів зростає в кілька сотень разів порівняно зі швидкістю водовіддачі при природному фільтруванні. Таким чином, збільшення тиску, з одного боку, збільшує швидкість водовіддачі осаду, з іншого, може призвести до підвищення його питомого опору, що в свою чергу може викликати зниження продуктивності вакуум-фільтрів. Це положення підтверджується аналізом формули (5.25) для визначення продуктивності вакуум-фільтрів.

Якщо у формулі (5.25) позначимо:

$$\frac{100 - W_k}{100 \cdot (W_m - W_k)} \cdot \sqrt{\frac{(100 - W_m) \cdot 2 \cdot m \cdot \rho}{\eta \cdot M}} = K, \quad (5.29),$$

то після перетворення отримаємо:

$$L = K \sqrt{p/R}. \quad (5.30)$$

Замість R підставимо його значення, визначене за формулою (5.2), тоді:

$$L = K \sqrt{10^{20} p / (r'' + a p^{s''})}. \quad (5.31)$$

При збільшенні r'' та a продуктивність вакуум-фільтра знижується, з іншого боку, з рівняння (5.31) видно, що якщо $0 \leq s'' \leq 1$, то зі збільшенням p його продуктивність збільшується. При s'' продуктивність вакуум-фільтра при підвищенні тиску може або знижуватися, або підвищуватися.

Після диференціювання рівняння (5.31) отримаємо:

$$p_{\text{опт}} = \sqrt[s'']{\frac{r''}{a \cdot (s'' - 1)}}. \quad (5.32)$$

Оскільки друга похідна p при $a > 0$ завжди позитивна, то отриманий вираз (5.32) при $s'' > 1$ дозволяє визначити оптимальне значення вакууму $p_{\text{опт}}$.

Оптимальне значення вакууму з достатньою точністю можна визначити для кожного конкретного осаду експериментальним шляхом. Для цього на лабораторному стенді при різних значеннях вакууму визначають продуктивність вакуум-фільтра і вологість кеку і будують їх залежно від значення вакууму.

Скоагульований осад заливається в ванночку, куди занурюється воронка, і під певним вакуумом проводиться фільтрування, а потім, після вилучення воронки з ванночки, підсушування утвореного кеку. Тривалість фільтроциклу (час утворення кеку і його підсушування) зазвичай призначається заздалегідь, вона повинна відповідати часу фільтроциклу моделюючого вакуум-фільтра за винятком часу проходження барабаном зони віддувки і нейтральних зон (близько 20% загального часу фільтроциклу).

Проведені дослідження показали, що оптимальне значення вакууму при зневодненні більшості осадів міських стічних вод лежить в межах 0,027 – 0,067 МПа (200 – 500 мм рт. ст.) та залежить від типу і ступеня обробки осадів. Вакуум-фільтрацією видаляється в основному вільна вода осаду, швидкість виділення якої при обраному вакуумі може бути різною в залежності від питомого опору осаду. Звідси випливає, що для різних осадів потрібен різний час зневоднення, тобто тривалість фільтроциклу слід призначати з урахуванням властивостей осаду, що підлягає зневодненню.

З формули (5.25) видно, що із збільшенням тривалості фільтрації зменшується продуктивність вакуум-фільтра. Тим часом, скорочення тривалості фільтроциклу веде до підвищення вологості кеку. Криві залежності обсягу фільтрату від тривалості фільтрування можуть бути отримані для кожного осаду. Маючи ці криві, можна в кожному конкретному випадку визначити тривалість фільтроциклу, виходячи з вимог отримання або мінімальної вологості кеку, або максимальної продуктивності вакуум-фільтра.

Як зазначалося вище, питомий опір осадів стічних вод після коагуляції їх хімічними реагентами повинен знаходитися в інтервалі $(5 \div 60) \cdot 10^{10}$ см/г.

Для барабанних вакуум-фільтрів при значенні вакууму 0,067 МПа (500 мм рт. ст.) можна призначити орієнтовну тривалість фільтроциклу в залежності від питомого опору скоагульованого осаду:

$\rho \cdot 10^{-10}$ см/г	5 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 60
τ , хв	2 – 2,5	2,5 – 3	3 – 4	4 – 5,5	5,5 – 8

Сирі осаді зневоднюються на вакуум-фільтрах більш ефективно, ніж зброджені, і при цьому з більш високою продуктивністю і меншими витратами хімічних реагентів.

5.4. Фільтр-пресування осадів

Вивченню процесу зневоднення осадів на фільтр-пресах в останні роки приділяється значна увага вітчизняними і зарубіжними дослідниками. В даний час створені нові конструкції фільтр-пресів, що дозволяють автоматизувати технологічний процес, регенерувати фільтрувальну тканину, здійснювати процес в безперервному режимі і збільшити продуктивність фільтрів.

При зневодненні осадів міських стічних вод на вакуум-фільтрах вологість кеку складає в середньому 70 – 80%. Застосування для цієї мети рамних і камерних фільтр-пресів в Англії, Японії, ФРН, Франції, Швейцарії та інших країнах дозволяє знизити вологість кеку до 50 – 70%.

У Фінляндії, ФРН (фірмами “Хакю” і “Нетч”) та ін. випускаються камерні фільтр-преси різних типорозмірів і модифікацій, призначені для зневоднення суспензій, у тому числі осадів стічних вод. На рис. 5.11 показаний загальний вигляд камерного фільтр-преса з вертикальним розташуванням камер. Розміри і число камер, а отже площа поверхні фільтрації, таких фільтрів можуть змінюватися в широких межах.

Рамні та камерні фільтр-преси є апаратами періодичної дії, вони працюють при значенні тисків фільтрації в межах 0,3 – 1,7 МПа (2 – 16 ат.) з тривалістю фільтрації від декількох хвилин до 4 – 6 год.

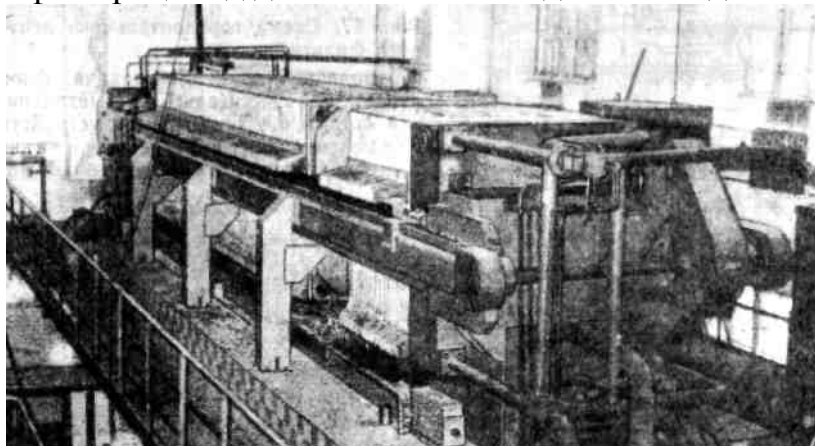


Рис. 5.11 Загальний вигляд камерного фільтр-преса

На багатьох очисних станціях Західної Європи, США та Японії в останні роки широке застосування одержали двострічкові горизонтальні,

вертикальні, барабанні та кутові фільтр-преси безперервної дії. Такі фільтри типів “Унімат”, “Дегремона”, “Праестол”, “Пассавант”, “Візе”, “Хюнмят”, “Андріц”, “Беллмер” та ін. випускаються різними фірмами у ФРН, Франції, Швеції, Голандії, Фінляндії, США, Японії, Угорщині та інших країнах. Перед зневодненням в осаді вводять флокулянт. Для обробки осадів міських стічних вод застосовують флокулянти катіонного типу. У залежності від застосовуваного флокулянта, типу і властивостей осадів доза коливається від 1 – 1,5 до 8 – 10 кг/т сухої речовини осаду. Установка, крім стрічкового фільтр-преса, включає склад для зберігання флокулянта і резервуари для його розчинення, насоси-дозатори осаду і флокулянта з широким діапазоном регулювання витрати осаду і дози флокулянта, транспортні системи і вузол видачі зневодненого осаду.

На рис. 5.12, 5.13 і 5.14 наведені принципові схеми відповідно горизонтального, барабанного і вертикального двострічкових фільтр-пресів безперервної дії. Принцип дії всіх вказаних фільтрів ґрунтується на видаленні вологи з осадів під дією тиску, створюваного звужувальними стрічками.

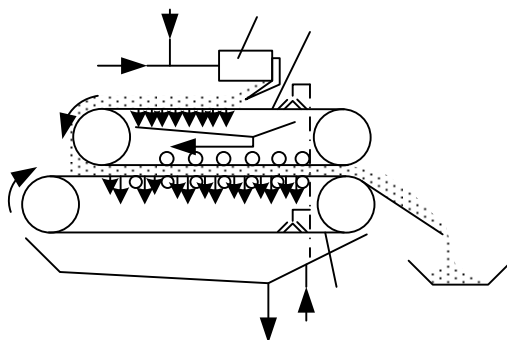


Рис. 5.12 Схема горизонтального стрічкового фільтр-преса: 1 – подача осаду; 2 – подача флокулянта; 3 – змішувач; 4 – металева сітка; 5 – промивні пристрої; 6 – нейлонова фільтрувальна тканина; 7 – відвід фільтрату і промивної води.

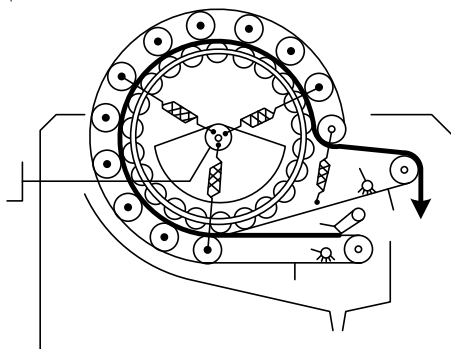


Рис. 5.13 Барабанний стрічковий фільтр-прес: 1 – подача вихідного осаду; 2, 3 – фільтрувальні стрічки; 4 – промивні пристрої; 5 – відвід зневодненого осаду.

Зневоднення осадів на горизонтальних стрічкових фільтр-пресах (див. рис. 5.12) спочатку здійснюється на верхній стрічці в результаті

флокуляції та гідростатичного видалення вологи, потім на нижній стрічці в результаті тиску, створюваного між двома стрічками внаслідок звуження в конус відстані між ними. В деяких фільтрах на верхній стрічці є зона вакууму, в якій розрідження створюється вентиляторами. Фіксація положення і натяг стрічок створюється регулювальними валками.

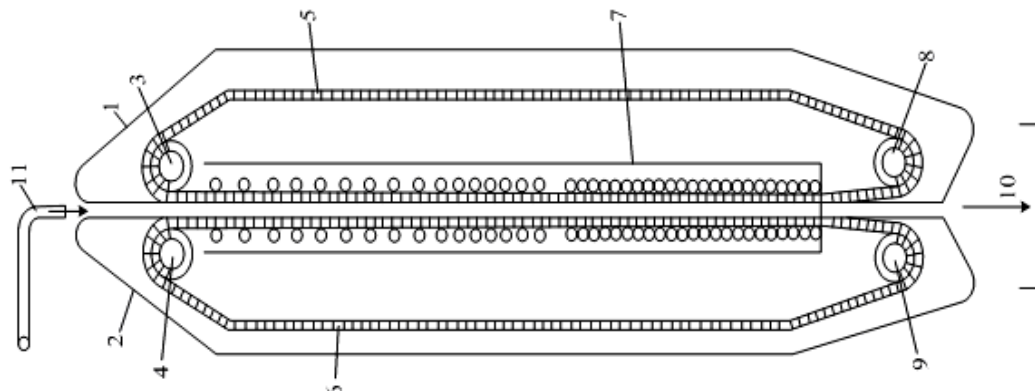


Рис. 5.14 Вертикальний стрічковий фільтр-прес: 1, 2 – перша та друга фільтрувальна стрічка; 3, 4 – провідні колеса ланцюгової передачі; 5, 6 – ланцюгова передача відповідно першої та другої фільтрувальної стрічки; 7 – еластична сітка; 8, 9 – ведені колеса ланцюгової передачі; 10 – відвід зневодненого осаду; 11 – подача осаду.

На барабанному фільтр-пресі (див. рис. 5.13) осад зневоднюється між двома обертовими стрічками. Стрічки натягуються на дві обойми роликів, внутрішня з яких обертається разом з барабаном.

Зневоднення осадів стічних вод на вертикальному стрічковому фільтр-пресі (див. рис. 5.14) здійснюється через вертикально розташовані фільтруючі стрічки. Спочатку попередньо сфлукуюваний осад зневоднюється під дією сил гравітації, потім під дією сил тиску, викликаних зіткненням фільтруючих стрічок і силами підвищеного тиску, що виникає в нижній ділянці фільтр-преса.

Фільтруючі стрічки стрічкових фільтр-пресів виготовляють з металевої сітки і нейлонової фільтрувальної тканини, а також з армованої поліефірної або поліпропіленової одно- або багат шарової сітки. Фільтруючі стрічки промиваються водою, яка безперервно подається з насадок під тиском 0,5 МПа. Фіксація їх положення здійснюється спеціальними пристроями.

Продуктивність стрічкових фільтр-пресів в залежності від їх конструкції, ширини стрічки, а також типу зневоднюваного осаду і використовуваного флокулянта становить від 2 до 20 м³ за вихідним осадом. Дані фільтр-преси на відміну від фільтр-пресів камерного або рамного типів дають більш високу вологість кеку (77 – 84%), але вони простіші в конструктивному виконанні та в експлуатації.

Стрічкові фільтр-преси в нашій країні випускаються двох типорозмірів – ФПЛ 1–5 із шириною стрічки 0,75 м (Воронезький завод

“Водмашоборудованіс”) і Лпр 10-1,2 Р-001 (Бердичівський завод “Прогрес”) з шириною стрічки 1,5 м. Планується випускати також стрічкові фільтр-преси з шириною стрічки 2,5 м. На рис. 5.15 показана схема стрічкового фільтр-преса типу ФПЛ 1–5. Випробування стрічкових фільтр-пресів показали, що при застосуванні вітчизняного флокулянта ОКФ продуктивність першого фільтр-преса досягає 5 м³/год, а другого 12 м³/год за зневодненням осадом.

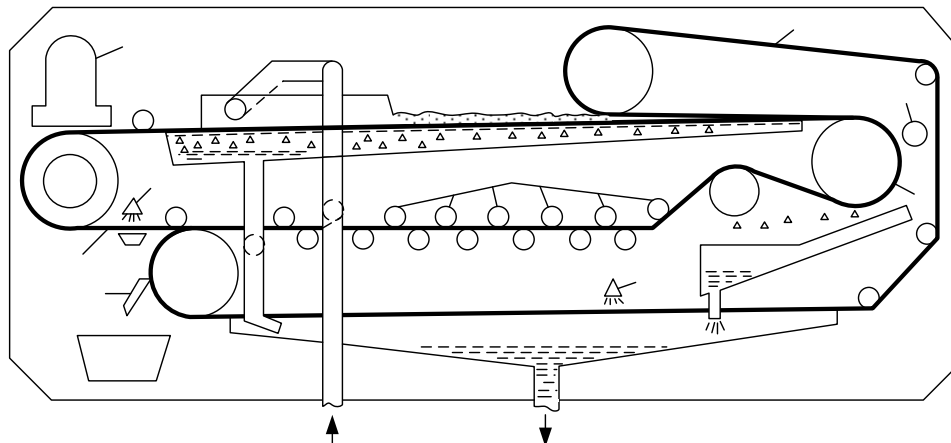


Рис. 5.15 Схема стрічкового фільтр-преса ФПЛ 1-5: 1 – подача осаду; 2 – ніж для зняття осаду; 3 – перша фільтрувальна стрічка; 4 – система промивання фільтрувальних стрічок; 5 – електропривід; 6 – система віджимних роликів; 7 – друга фільтрувальна стрічка; 8 – притискний ролик; 9 – фільтрувальний барабан; 10 – піддон для збору фільтрату і промивної води.

Основна відмінність вітчизняних фільтр-пресів полягає в більш глибокому зневодненні осадів під дією тиску. Для цієї мети стрічкові фільтр-преси забезпечені спеціальними притискними роликami, встановленими на перфорованих барабанах. При проходженні фільтрувальних стрічок з осадом по перфорованому барабані ці притискні ролики допомагають збільшити видалення вологи з осаду. Крім того, у стрічкового фільтр-преса марки Лпр 10-1,2 Р-001 для зневоднення осаду під тиском передбачена система віджимних куль, за допомогою якої осад зневоднюється більш ефективно.

Для стрічкових фільтр-пресів були випробувані фільтрувальні стрічки № 8; 10 та 11, що виготовляються Краснокамським заводом металевих сіток. За своїми характеристиками та ефективністю використання ці сітки не поступаються закордонним.

Зневоднення осадів стічних вод проводиться під дією гравітації, вакууму і тиску. Попередньо оброблений реагентом осад подається до приймальної ванни, розташованої над фільтрувальною стрічкою, де він зневоднюється під дією сил гравітації, потім разом з фільтрувальною стрічкою осад пересувається в зону вакууму, де зневоднюється під дією

вакууму значенням в 50 – 100 мм рт. ст. На наступному етапі осад зневоднюється під дією тиску в результаті здавлювання його другою фільтрувальною стрічкою, а потім в результаті проходження стрічок з осадом по перфорованому барабані. Остаточне віджимання проводиться за допомогою системи віджимних куль і системи віджимних роликів. Максимальний тиск на осад не повинен перевищувати 0,3 – 0,4 МПа. Зневоднений осад знімається спеціальним ножом і подається на конвеєр. Для очищення фільтрувальних стрічок передбачена система промивання. Фільтрат і промивна вода збираються в піддоні і відводяться в каналізацію.

Поряд із застосуванням для зневоднення осадів стічних вод фільтр-преси застосовуються для зневоднення концентрованих суспензій в хімічній, гірничорудній, харчовій та інших галузях промисловості. Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут хімічного машинобудування (УкрНДХІММАШ) розробив автоматизовані камерні фільтр-преси з механічним затиском горизонтально розташованих фільтрувальних плит – типу ФПАКМ і вертикально розташованими фільтрувальними плитами – типу ФПАВ, які можуть використовуватися для зневоднення осадів стічних вод. Фільтр-преси даних типів випускаються серійно Бердичівським заводом “Прогрес”. Вони мають робочий тиск до 1,6 МПа; площа поверхні фільтрації фільтрів типу ФПАКМ – 2, 5, 10, 25, 50 і 100 м², а фільтрів типу ФПАВ – до 500 м².

Схема дії фільтр-преса типу ФПАКМ показана на рис. 5.16.

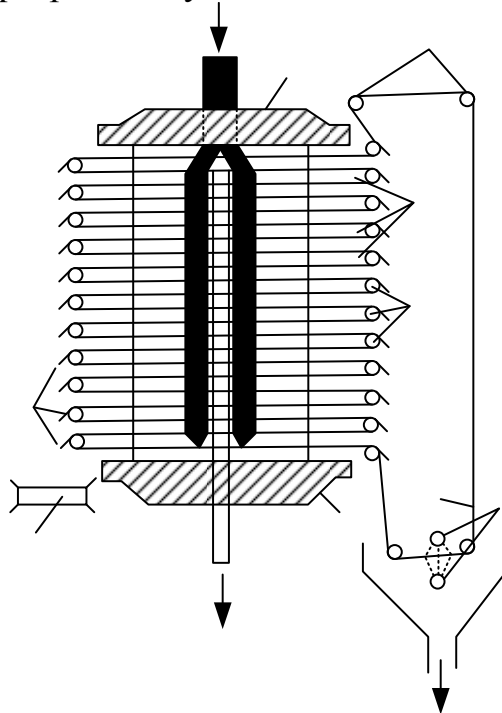


Рис. 5.16 Схема автоматичного фільтр-преса типу ФПАКМ: 1 – подача осаду для зневоднення; 2 – підтримуючі плити; 3 – натяжні ролики; 4 – фільтрувальні плити-камери; 5 – направляючі ролики; 6 –

фільтрувальна тканина; 7 – насадки для регенерації фільтрувальної тканини; 8 – відвід промивної води; 9 – колектор для відводу фільтрату; 10 – конвеєр зневодненого осаду; 11 – ножі для зняття зневодненого осаду.

Зневоднювальна суспензія і стиснене повітря для продування подаються по колектору і за допомогою бічних каналів розподіляються по камерах. Фільтроцикл включає подачу суспензії в камери, її зневоднення під тиском, віджим гумовими діафрагмами, вмонтованими в плити, вивантаження зневодненого осаду і регенерацію фільтрувальної тканини. Після зневоднення фільтрувальна тканина переміщається по замкнутому контуру на один крок, відповідний довжині фільтрувальної плити. При переміщенні тканини проводиться зняття зневодненого осаду ножами і її регенерація водою, що подається з насадок. Зневоднений осад переміщається стрічковим транспортером в приймальний бункер, а фільтрат і промивна вода скидаються в каналізацію.

На рис. 5.17 наведена схема технологічного процесу фільтр-пресування осадів. Осад, що піддається зневодненню, з резервуара під дією вакууму перепускається в монжус. Після заповнення монжуса засувки 6 і 9 закриваються, а засувки 5 і 12 відкриваються і включається компресор, за допомогою якого осад з монжуса видавлюється в фільтр-прес, де зневоднюється. Перед зневодненням осади міських стічних вод піддаються роздрібненню і коагуляції хімічними реагентами. Замість подрібнювача можуть застосовуватися сітки для вилучення з осадів крупних включень (діаметр > 3 мм). При застосуванні фільтр-пресів з площею поверхні фільтрації 300 м² і більше установка подрібнювачів та сіток не потрібна.

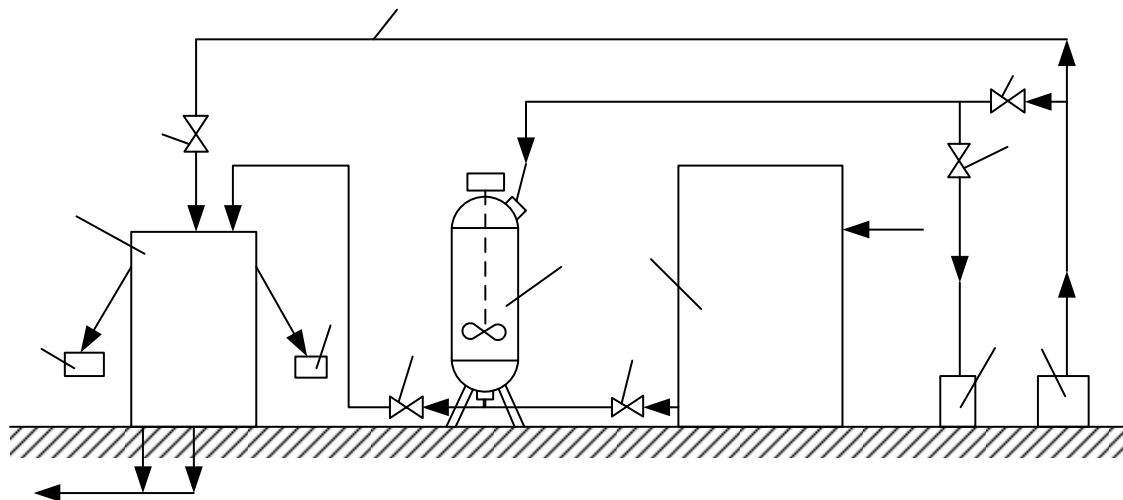


Рис. 5.17 Схема технологічного процесу фільтр-пресування осадів: 1 – конвеєри; 2 – фільтр-прес камерного типу; 3, 5, 6, 9, 12 – засувки; 4 – трубопровід стисненого повітря; 7 – компресор; 8 – вакуум-насос; 10 –

резервуар зневодненого осаду; 11 – монжус; 13 – відвід фільтрату та промивної води на очисні споруди.

Фільтр-прес ФПАКМ з площею поверхні фільтрації $2,5 \text{ м}^2$ в нашій країні вперше випробуваний на зневодненні осадів міських стічних вод. Зневоднення збродженого в мезофільних умовах осаду Харківської біологічної станції, скоагульованого вапном дозою 20 – 25% (за СаО) і сірчанокислим залізом дозою 4 – 6% маси сухої речовини осаду, при тиску фільтрації і віджимання до 1,6 МПа (15 ат.) і тривалості фільтроциклу 15 – 20 хв дозволило отримати продуктивність фільтр-преса до 12 – 17 кг/($\text{м}^2 \cdot \text{год}$) за сухою речовиною при вологості кеку 45 – 56%.

Оскільки дані про досвід застосування фільтр-пресів для зневоднення осадів досить суперечливі, нами розглянуті питання вибору оптимального режиму роботи фільтр-пресів і умов їх застосування. Найбільш істотними параметрами, від яких залежить вибір режиму роботи фільтр-пресів, є питомий опір і показник стискуваності осадів. Взаємозв'язок режиму роботи фільтр-преса і властивостей осадів можна встановити виходячи з теоретичних передумов. Якщо прийняти, що щільність твердої фази осаду $\rho_{\text{ТВ}} = 1$, то можна отримати наступний вираз:

$$l' = \frac{(100 - W_{\text{к}}) \cdot h \cdot \rho_{\text{ТВ}}}{200}. \quad (5.33)$$

Використовуючи рівняння (43), (48) та (5.29) для визначення часу фільтрації, отримаємо формулу:

$$t_{\text{ф}} = 125 \cdot \frac{R \cdot \eta_0 \cdot h^2 \cdot \rho \cdot \rho_{\text{ТВ}}^2 \cdot (W_{\text{м}} - W_{\text{к}})^2}{\rho \cdot \rho^2 \cdot (100 - W_{\text{м}})}. \quad (5.34)$$

Проте зважаючи на зроблене спочатку припущення, що $\rho_{\text{ТВ}} = 1$, у формулу (5.34) необхідно ввести поправочний коефіцієнт, що враховує зміну $t_{\text{ф}}$ при зміні $\rho_{\text{ТВ}}$. Якщо позначимо об'єм кеку $V_{\text{к}}$, об'єм твердої фази кеку $V_{\text{ТВ}}$, а об'єм рідини в кеку $V_{\text{в}}$, то можна записати:

$$V_{\text{к}} = V_{\text{ТВ}} + V_{\text{в}} = \frac{l'}{\rho_{\text{ТВ}}} + \frac{W_{\text{к}} l'}{(100 - W_{\text{к}}) \cdot \rho_{\text{в}}}. \quad (5.35)$$

При заповненні усієї камери кеком з врахуванням виразу (5.35) маємо:

$$l' = \frac{h \cdot (100 - W_K)}{200} \cdot \left[\frac{\rho_{TB}}{1 + [W_K \cdot (\rho_{TB} - 1)] / 100} \right]. \quad (5.36)$$

Порівнюючи вираз (5.33) та (5.36), отримаємо значення поправочного коефіцієнта К:

$$K = \frac{\rho_{TB}}{1 + [W_K \cdot (\rho_{TB} - 1)] / 100}. \quad (5.37)$$

Увівши в рівняння (5.35) коефіцієнт К, значення якого визначається за формулою (5.37), отримаємо час фільтрації t_ϕ , с:

$$t_\phi = 125 \cdot K^2 \cdot \frac{R \cdot \eta_0 \cdot \rho \cdot (W_M - W_K)^2 \cdot h^2 \cdot \rho_{TB}^2}{p \cdot \rho^2 \cdot (100 - W_M)}, \quad (5.38)$$

де R , м/кг; η_0 , Па·с; ρ , кг/м³; h , м; p , Па.

Для осадів міських стічних вод при зміні ρ_{TB} від 1 до 1,4 г/см³ і вологості кеку від 45 до 80% значення K^2 змінюються від 1 до 1,4. Для шламів виробничих стічних вод, коли ρ_{TB} досягає 2,5 – 3 г/см³, а вологість кеку знижується до 30%, значення K^2 зростають до 3 – 3,5.

Якщо відомо t_ϕ , то продуктивність фільтр-пресів L_ϕ , кг/(м²·год) за сухою речовиною осаду, можна визначити за формулою:

$$L_\phi = \frac{(100 - W_K) \cdot h \cdot \rho_{TB}}{20 \cdot t_\phi}. \quad (5.39)$$

Як було показано вище, залежність питомого опору від тиску виражається рівняннями (5.1) та (5.2). Оптимальне значення вакууму при зневодненні осадів на вакуум-фільтрі визначається за формулою (5.32). Фільтр-пресування осадів відбувається при тисках, що на порядок перевищують значення вакууму на вакуум-фільтрах. Щоб уникнути порушення пористості осадів при їх фільтр-пресуванні повинні бути знижені показники стискуваності осадів шляхом зміни їх структури або створення жорсткого скелета введенням реагентів або присадкових матеріалів, що мають низькі показники стискуваності. При відомих показниках стискуваності s і питомому опорі осаду r оптимальне значення тиску може бути отримано шляхом логарифмування рівняння (5.1) і його розв'язання відносно тиску p , тобто:

$$\lg p = (\lg r - \lg r') / s. \quad (5.40)$$

Досліди з фільтр-пресування осадів проводилися на лабораторному стенді з фільтром площею поверхні фільтрації $0,01 \text{ м}^2$, моделюючим роботу фільтр-пресів (рис. 5.18).

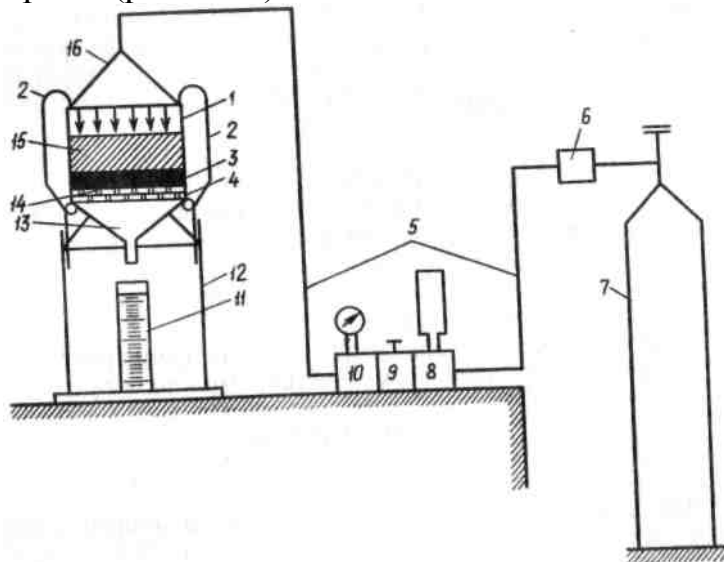


Рис. 5.18 Схема лабораторного стенду для фільтр-пресування осадів: 1 – зйомна склянка фільтрувальної воронки (лійки); 2 – затискні гаки; 3 – шар кеку; 4 – дно фільтрувальної воронки з отворами; 5 – подача стисненого азоту; 6 – редуктор; 7 – балон стисненого газу; 8 – запобіжний клапан на тиск 2 МПа; 9 – триходовий спускний кран; 10 – манометр; 11 – мірний циліндр; 12 – рама для кріплення фільтрувальної воронки; 13 – воронка для стоку фільтрату; 14 – фільтрувальна тканина; 15 – поршень; 16 – зйомна кришка.

У зйомний стакан фільтруючої воронки заливають порцію досліджуваного осаду, після чого його закривають кришкою, що закріплюється чотирма затискними гаками. Потім відкриваються вентилі балона стисненого газу (азоту) і редуктора і створюється усередині воронки необхідний тиск. Фільтрат, що виділяється з осаду, стікає через отвори днища воронки в мірний циліндр. Коли виділення фільтрату з осаду практично закінчується або відбувається розтріскування кеку, що визначається за падінням тиску на шкалі манометра, закриваються вентилі балона стисненого газу і редуктора, потім за допомогою триходового спускного крана знижується до атмосферного тиск всередині склянки і видаляється зневоднений осад. Фільтрувальна тканина промивається, після чого можна повторювати фільтроцикл. У разі моделювання роботи фільтр-преса типу ФПАКМ для додаткового віджимання зневодненого осаду використовується поршень, що імітує дію гумової діафрагми.

У табл. 5.4 наведені значення показників стискуваності деяких досліджених осадів і їх зміни в процесі коагуляції хімічними реагентами.

З цієї таблиці видно, що шлами виробничих стічних вод мають більш низькі значення показників стискуваності, ніж осади міських стічних вод. Показники стискуваності досліджених нами шламів виробничих стічних вод коливалися від 0,5 до 0,8, а осадів міських стічних вод – від 0,9 до 1,14. У першому випадку тверда фаза складалася на 50 – 95% з слабо стискуваних мінеральних речовин, у другому – на 60 – 75% з добре стискуваних органічних речовин. Показники стискуваності осадів узгоджуються з показниками, отриманими багатьма зарубіжними дослідниками.

Таблиця 5.4 Значення показників стискуваності осадів і шламів стічних вод

Тип осаду	Доза коагулянта, % маси сухого ОСВ		Показник стискуваності S
	FeCl ₃	CaO	
Сирий	-	-	0,9 – 0,99
	1,1	4,9	1
	1,1	13,1	0,89
Ущільнений активний мул	-	-	1 – 1,14
	7,8 – 17,8	-	1 – 1,27
	8 – 9,8	19,1 – 24	0,82 – 1,03
	7,8	20,4	0,92
	7,8	42	0,82
Осад від ЗІЛ	-	-	0,8
Шлам від нейтралізації травильних розчинів вапном	-	-	0,6 – 0,63
Шлам стічних вод прокатного цеху	-	-	0,5

Коагуляція осадів міських стічних вод хлористим залізом підвищувала показник стискуваності осаду, а коагуляція хлористим залізом в поєднанні з вапном приводила до його зниження.

У табл. 5.5 показана зміна оптимального значення тиску, розрахованого за формулою (5.36), в залежності від значень показника стискуваності осаду, s.

З табл. 5.5 видно, що чим нижче показник стискуваності осаду (при рівному питомому опорі), тим більший тиск може бути використаний для зневоднення осаду. При оптимальному тиску зневоднення осаду можна отримувати найбільшу продуктивність фільтр-преса. Разом з тим дані табл. 5.5 показують, що осади з високими показниками стискуваності ефективніше зневоднювати на вакуум-фільтрах або на стрічкових фільтр-пресах. Найбільш ефективно зневоднюються на камерних фільтр-пресах шлами виробничих стічних вод мінерального походження. Якщо на камерних фільтр-пресах зневоднюються осади міських стічних вод, то їх показники стискуваності повинні бути нижче 0,8. Зниження показників

стискуваності осадів міських стічних вод досягається введенням вапна або присадкових матеріалів, що змінюють структуру осадів. Ця зміна досягається також заморожуванням і наступним відтаванням, коли частина зв'язаної води переходить у вільну та осад набуває дрібнозернистої структури, а також тепловою обробкою, при якій частина органічних речовин розчиняється, переходить в мулову воду і видаляється разом з нею.

Таблиця 5.5 Залежність тиску від показника стискуваності осаду

Тип осаду	$\gamma \cdot 10^{-10}$, см/г	s	lg γ	lg γ'	lg p	$\rho_{опт}$		
						МПа	мм рт. ст.	кгс/см ²
Сирий з первинних відстійників	190	0,95	-	-	-	-	-	-
Те ж саме + 1,2% FeCl ₃ + 4,8% CaO	25,4	1	11,405	6,130	5,275	0,019	141	0,19
Те ж саме + 17,6% CaO	25,5	0,85	11,405	6,130	6,210	0,42	-	4,3
Те ж саме + 113% золи, отриманої від спалювання осаду	25,5	0,75	11,405	6,130	7,030	5,05	-	52
Шлам від нейтралізації травильних розчинів вапном	6,5	0,60	10,813	7,173	6,120	0,41	-	4,2

На рис. 5.19 показана залежність вологості кеку від питомого опору осадів міських стічних вод, отримана нами на основі власних досліджень та узагальнення літературних даних. З цього малюнка видно, що для отримання кеку вологістю менше 65% питомий опір осаду повинен бути нижче $50 \cdot 10^{10}$ см/г при $s = 0,85$ і $p_{надл} = (4 \div 5) \cdot 10^5$ Па.

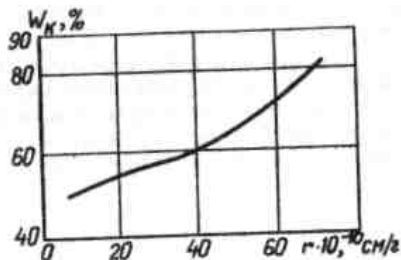


Рис. 5.19 Залежність вологості кеку W_k від питомого опору осаду γ

Результати фільтр-пресування деяких осадів міських і виробничих стічних вод, узагальнені в табл. 5.6.

При додатковому віджиманні осадів міських стічних вод за допомогою поршня протягом 5 – 10 хв вологість кеку знижується на 3 – 10% в порівнянні з наведеною в табл. 5.1. Зі збільшенням тиску опір фільтрувальної тканини зростає, тому фактичний тиск повинен прийматися на 5 – 10% вище розрахункового, визначеного за формулою (5.40). Проведені дослідження дозволяють більш чітко визначити область практичного застосування фільтр-пресів для зневоднення осадів стічних вод. Найбільший ефект виходить при використанні фільтр-пресів

камерного типу для зневоднення осадів виробничих і міських стічних вод, що мають забруднення мінерального походження (див. табл. 5.6). У цих випадках відпадає необхідність у застосуванні коагулянтів і одночасно досягається низька вологість кеку і висока продуктивність фільтра при порівняно низьких значеннях тиску фільтрації.

Таблиця 5.6 Результати фільтр-пресування осадів міських та промислових стічних вод на лабораторному стенді

Тип осаду	Вологість, %	Доза реагентів, % маси сухої речовини		Тиск, МПа	Тривалість фільтрації, хв	Вологість кеку, %	Продуктивність, кг/(м ² ·год) за сухою речовиною
		FeCl ₃	CaO				
Сирий з первинних відстійників	92,7 – 93,3	0,2 – 3,4	2,3 – 18,1	0,1 – 0,8	3 – 88	61,5 – 85	2,3 – 12,6
Зброджена суміш (в мезофільних умовах)	97,8	3,5 – 18,2	5,2 – 23,6	0,7	22 – 89	79 – 87	1,3 – 4,1
Та сама, промита	96,7	5 – 8	22 – 29	0,7	64 – 89	59 – 68	3,6 – 5,8
Шлам:							
від нейтралізації травильних розчинів вапном	70 – 75,5	-	-	0,1 – 0,7	5 – 30	55 – 58	28,5 – 83,6
від вологої газоочистки “Електросталь”	47,6 – 54,5	-	-	0,3 – 1	5 – 31	24 – 28	28,4 – 93,3
від прокатного цеху заводу “Серп і молот”	52 – 79,6	-	-	1 – 1,5	3 – 10	13 – 18	144 – 1260

Камерні фільтр-преси для зневоднення осадів міських стічних вод доцільно також застосовувати у випадках, коли проводиться попередня теплова обробка осадів, що виключає необхідність їх коагуляції хімічними реагентами, або коли зневоднені осадки підлягають спалюванню. Застосування фільтр-пресів в зазначених випадках дозволить отримувати зневоднені осадки низької вологості і використовувати золу від їх спалювання в якості присадкового матеріалу для зміни структури зневоднюваних осадів.

Контрольні запитання

1. Дайте характеристику теоретичним основам технології фільтрування осадів стічних вод.
2. Опишіть технологічні процеси зневоднення осадів на вакуум-фільтрах і фільтр-пресах.
2. Дайте характеристику установкам механічного зневоднення осадів стічних вод.
3. Опишіть технологічні процеси зневоднення осадів на барабанних вакуум-фільтрах.
4. Опишіть технологічні процеси фільтр-пресування осадів стічних вод.

5. Опишіть технологічні відмінності використання схем горизонтального і вертикального двострічкових фільтр-пресів безперервної дії.

Розділ 6 ЦЕНТРИФУГУВАННЯ ОСАДІВ

6.1. Основні закономірності розподілу осадів на фази при центрифугуванні

Для зневоднення осадів стічних вод найбільше застосування отримали безперервні осаджувальні горизонтальні центрифуги зі шнековим навантаженням осаду. Шнек і ротор обертаються з різною частотою, внаслідок чого осаждена тверда фаза вивантажується з ротора.

Основними показниками, що характеризують роботу осаджувальних центрифуг, є продуктивність, ефективність затримування сухої речовини і вологість зневодненого осаду (кеку). Показники роботи центрифуги залежать від геометричних розмірів ротора, частоти обертання, діаметра зливного циліндра, положення живильної труби, вологості осаду, що розділяють, щільності та дисперсного складу його твердої фази, форм зв'язку вологи з твердими частинками, в'язкості рідкої фази та інших факторів.

Для визначення теоретичної об'ємної продуктивності центрифуги Q_r , м³/с, використовується наступна формула:

$$Q_r = \frac{\pi r^2 \omega^2 l_p (\rho_2 - \rho_1) d_m^2}{9\mu}, \quad (6.1)$$

де r – радіус ротора, м; ω – кутова швидкість обертання ротора, рад/с; l_p – розрахункова довжина шляху осадження, м; $\rho_2 - \rho_1$ – різниця густин твердої і рідкої фаз, кг/м³; d_m – крупність поділу (найменший розмір часток, що осідають в центрифугузі), м; μ – динамічна в'язкість рідкої фази, Па·с.

Для визначення крупності розділення проводять дисперсійний аналіз твердої фази суспензії і фугату або задаються продуктивністю центрифуги, визначаючи крупність поділу за формулою

$$d_m = \sqrt{\frac{9\mu \cdot Q_r}{\pi r^2 \omega^2 l_p (\rho_2 - \rho_1)}}. \quad (6.2)$$

Ефективність затримання сухої речовини розраховують, визначаючи по формулі (6.2) крупність поділу часток. Знаючи крупність поділу, за сумарною кривою розподілу частинок знаходять процентний вміст затриманого сухої речовини.

Визначити крупність затримання можна, вводячи в формулу (6.2) технологічний коефіцієнт центрифуги η . Тоді

$$\eta = 1,03Fr^{0,089}Re^{-0,037}, \quad (6.3)$$

де Fr – критерій Фруда для потоку у відцентровому полі; Re – критерій Рейнольдса.

Розрахунки, виконані за формулою (6.2) з урахуванням коефіцієнта центрифуги η , показали, що при продуктивності центрифуги ОГШ-325 $Q=1$ м³/год, діаметрі зливного отвору $D_{зл} = 230$ мм і частоті обертання $n = 3500$ хв⁻¹ крупність поділу сирого осаду і активного мулу станції аерації, щільність твердої фази яких дорівнює 1,5 г/см³, становить 129 мкм; при продуктивності $Q = 3$ м³/год, крупність поділу цих осадів збільшується до 214 мкм. Крупність розділення зброженого осаду Люблінської станції аерації при $Q = 1$ м³/год, складає 117 мкм, при $Q = 3$ м³/год – 195 мкм. Розрахункова і фактична ефективності затримання сухої речовини при обробці осадів Люблінської станції аерації склала для сирого осаду відповідно 57 і 52%; для зброженої суміші – 29 і 22%; для активного мулу – 12 і 7%.

Зіставлення розрахованої ефективності затримання сухої речовини з даними, отриманими експериментальним шляхом, показало, що формула (6.2) дозволяє розраховувати ефективність затримання сухої речовини для сирого і зброженого осадів з помилкою порядку 5-10%. При центрифугуванні активного мулу ефективність затримання сухої речовини мало залежить від продуктивності центрифуги, в цьому випадку виходять досить суттєві розбіжності. Слід зазначити також, що практичне використання рівнянь (6.1) – (6.3) пов'язане з трудомісткими розрахунками показників, що входять до них. Проведення дисперсійного аналізу і визначення щільності твердої фази осаду вимагають ретельного виконання, а результати повторних аналізів часто не збігаються навіть при роботі з одним і тим же осадом [2-5].

Поділ твердої і рідкої фаз осаду відбувається під дією відцентрової сили

$$m\omega^2r = mr(\pi n/30)^2, \quad (6.4)$$

що теоретично перевищує гравітаційне розділення в наступне число разів:

$$\omega^2r/g \approx (n/30)^2, \quad (6.5)$$

де m – маса сухої речовини осаду, кг.

Фактично при безреагентному центрифугуванні затримуються лише частинки крупністю, більше зазначеної вище. Найбільш просто ефективність $\varepsilon, \%$, затримання сухої речовини осаду можна визначати за формулою, отриманою з рівнянь збереження матеріального балансу

$$\varepsilon = \frac{C_k (C_{oc} - C_\phi)}{C_{oc} (C_k - C_\phi)} 100, \quad (6.6)$$

де C_k, C_{oc} і C_ϕ – концентрації сухої речовини відповідно в кекові, осаді і фугаті. Знаючи ефективність затримання сухої речовини і продуктивність центрифуги по вихідному осаді, продуктивність її по зневодненому осаді (кеку) Π_k , кг/год, можна визначити за формулою

$$\Pi_k = \frac{10\Pi_{вих} (100 - W_{вих}) \rho \cdot \varepsilon}{100 - W_k}, \quad (6.7)$$

де $\Pi_{вих}$ – продуктивність центрифуги по вихідному осаді, м³/год; $W_{вих}$ і W_k – вологість відповідно осаді і кеку, %; ρ – щільність осаді, т/м³.

Для розрахунку ефективності затримання сухої речовини і продуктивності центрифуги за формулами (6.6) і (6.7) необхідно визначити концентрацію сухої речовини вихідного осаді, кеку і фугату. При розрахунках, пов'язаних з проектуванням установок по центрифугуванню осадів, можна приймати ефективність затримання сухої речовини і вологість кеку за аналогією з цими показниками для близьких за складом однотипних осадів.

Для отримання більш точних даних, що враховують реальні властивості розділюваних осадів, доцільне моделювання процесу центрифугування на лабораторних установках. Однак у зв'язку з недостатньою вивченістю процесу центрифугування його моделювання вельми нелегке. Зміна геометричних розмірів центрифуг при моделюванні призводить до істотної зміни гідродинаміки процесу, а отже, до розбіжності теоретичних і дослідних даних. Разом з тим проведені нами дослідження показали, що для оцінки ефективності затримання сухої речовини можна використовувати дані, отримані на лабораторних склянкових центрифугах.

Ефективність затримання сухої речовини осаді залежить в основному від площі наведеної поверхні осадження центрифуги (індексу продуктивності) і тривалості перебування осаді в роторі. Індекс продуктивності центрифуги виражається залежністю

$$\Sigma = F\Phi, \quad (6.8)$$

де F – площа поверхні зливного циліндра центрифуги; Φ – фактор поділу, рівний:

$$\Phi = \omega^2 R / g, \quad (6.9)$$

де ω – кутова швидкість обертання ротора, рад/с; R – радіус ротора, м; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Вплив основних змінних цього процесу – фактора поділу і тривалості центрифугування – на ефективність розділення осаду легко визначається на лабораторній центрифугі. На рис. 6.1 показано зменшення обсягів ущільнених осадів різного типу при збільшенні тривалості центрифугування з 0,5 до 12 хв і частоти обертання ротора лабораторної центрифуги ЦЕ-3 з 1000 до 6000 хв⁻¹. При частоті обертання $n = 2000 \div 3000$ хв⁻¹ обсяги осадів зменшуються поступово протягом 5-8 хв; при $n = 6000$ хв⁻¹ об'єм осаду значно зменшується вже через 0,5-1 хв. При збільшенні тривалості центрифугування понад 2 хв обсяг осаду зменшується несуттєво.

Тривалість перебування осаду в роторі промислової центрифуги ОГШ-325 практично змінюється від 32 до 5,4 с при продуктивності 1-6 м³/год; максимальне значення фактора поділу цієї центрифуги становить 2180.

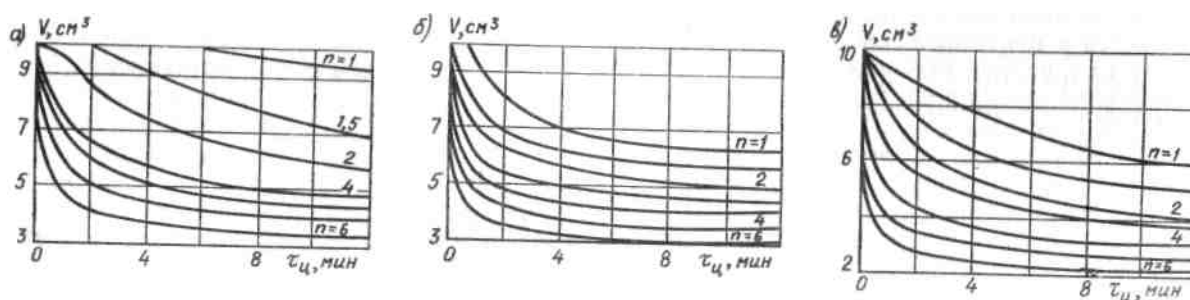


Рис. 6.1 Залежність об'єму осаду V від тривалості центрифугування $\tau_{\text{ц}}$ при частоті обертання n , тис.хв⁻¹: а – для активного мулу; б і в – для сирого і зброженого осаду відповідно.

Ущільнення різних осадів на лабораторній центрифугі при постійному значенні $\Phi = 2180$ показало, що зміна часу в межах 32-5,4 с найбільшою мірою впливає на поділ сирого осаду і в найменшій – активного мулу.

В якості критерію, що характеризує водовіддачу осаду у відцентровому полі використовується індекс центрифугування U , см³/г, що визначається за формулою

$$U = (V/V_0 C_0) 1000, \quad (6.10)$$

де V – об'єм осаду, см³, отриманий на стаканчиковий центрифугі при $n = 6000$ хв⁻¹ і тривалості центрифугування $\tau = 2$ хв; V_0 – обсяг вихідного осаду, см³; C_0 – концентрація вихідної осаду, г/л.

Більш концентрований осад первинних відстійників розділяється у відцентровому полі краще, ніж зброджена суміш осаду і мулу, і значно краще, ніж сирий активний мул.

На основі даних, отриманих на лабораторній центрифугі ЦЕ-3 і промисловій центрифугі ОГШ-325, встановлено залежність ефективності затримання сухої речовини осаду від індексу центрифугування (рис. 6.2).

Використання індексу центрифугування в якості критерію дозволяє оцінити збільшення ефективності затримання сухої речовини при попередній обробці осадів хімічними реагентами, а також при заморожуванні і відтаванні, підігріві, тривалій аерації і т. п. Наприклад, при обробці сирого осаду Люблінської станції аерації флокулянтном ВА-2 індекс центрифугування зменшився з 4 до 3 $\text{см}^3/\text{г}$, що призводить, як це видно на рис. 6.2, до збільшення ефективності затримання сухої речовини з 45 до 55 %.

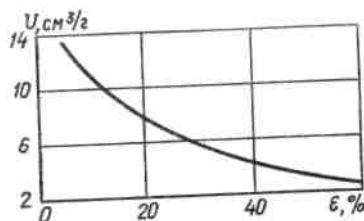


Рис. 6.2 Залежність ефективності ϵ затримання сухої речовини від індексу центрифугування U при зневодненні осадів на центрифугі ОГШ-325 ($Q=3 \div 4 \text{ м}^3/\text{год}$).

6.2. Безреагентне центрифугування осадів і схеми обробки фугату

За принципом дії центрифуги класифікуються на осаджувальні, фільтруючі, періодичної і безперервної дії.

Перед подачею осаду на центрифуги передбачається видалення з нього піску, а перед центрифугами з діаметром ротора менше 0,5 м – установка решіток-подрібнювачів.

При подачі фугату після центрифуг на очисні споруди враховується збільшення навантаження на них по БСК_{повн} і суспензії.

Доза флокулянтів катіонного типу приймається 2 ... 7 кг/т сухої речовини осаду.

Основні технічні характеристики вітчизняних центрифуг наведено в табл. 6.1 і на рис. 6.3, а схема центрифугування осаду первинних відстійників з аеробною стабілізацією фугату в суміші з неущільненим активним мулом і з подальшим центрифугуванням мулу – на рис. 3.4 (схема 5).

Розміри типових корпусів з п'ятьма або трьома центрифугами наведено на рис. 5.5. Віброфільтри застосовуються для згущення або зневоднення важко фільтрувальних осадів без попереднього кондиціонування їх або після реагентної обробки. Частота коливання

фільтрувальної перегородки з розмірами отворів 0,1 ... 3 мм складає 20 ... 50 Гц. Поділ фаз відбувається або під гідро статичним, або під надлишковим тиском до 0,6 МПа. Схема вібраційного фільтра лоткового типу дана на рис. 6.4.

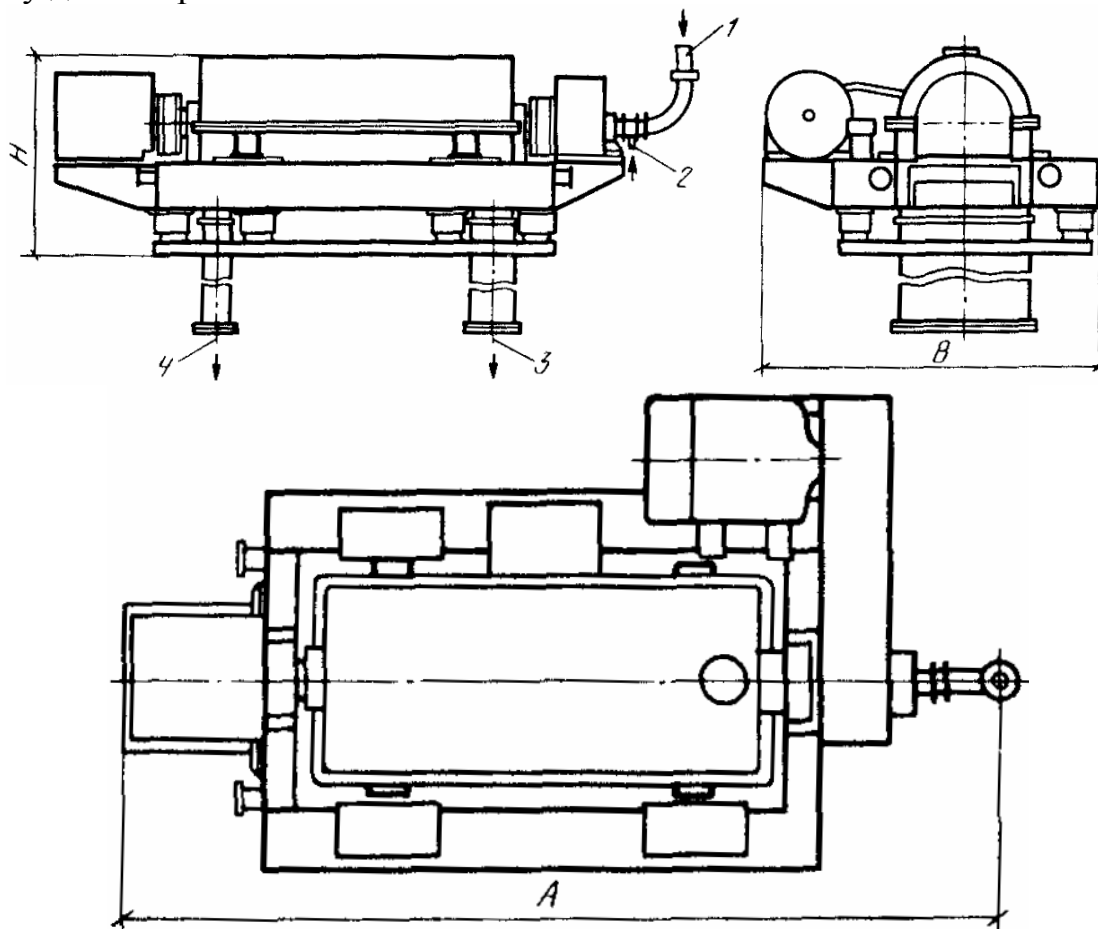


Рис.6.3. Центрифуга ОГШ-510К-10: 1 - подача осаду; 2 - подача флокулянту; 3 - вивантаження осаду; 4 - злив фугату.

Таблиця 6.1 – Технічна характеристика серійних центрифуг

Показники	Значення показників для центрифуг типів				
	ОГШ-352 К-03	ОГШ-502 К-04	ОГШ-631 К-02	ОГШ-1001К-01	ОГШ-501 К-10
Розрахункова продуктивність осаду, м ³ /год					
без флокулянтів	4...7	6...12	20...40	50...80	15...25
з флокулянтами	1...3	1...3	15...26	35...60	8...15
Найбільший робочий діаметр ротора, мм	350	500	630	1000	500
Робоча довжина ротора, мм	1000	930	2370	3600	1800
Частота обертання ротора, хв. ⁻¹	2800...42 50	2000...26 50	3000	1000	2650
Розміри центрифуги з електродвигуном, мм					
довжина А	2200	2710	5100	6650	3860

ширина В	1860	1990	2750	3600	2080
висота Н	1135	1526	1450	2130	1210
Потужність електродвигуна, кВт	18,5	28; 32	90	110	75

Для зменшення втрат твердої фази з фільтратом поділ осаду на безнапірних біофільтрах (грохотах) проводиться в дві послідовні стадії (згущення + зневоднення).

Технічні параметри роботи наведено в табл. 6.2. Характеристика вібраційних грохотів, що випускаються промисловістю, наведена в табл. 6.3. Грохоти застосовуються в якості віброфільтрів після заміни на них просіювальної поверхні сіткою з розміром отворів 0,1-3 мм.

Таблиця 6.2 – Технічні параметри роботи віброфільтрів і грохотів у дві стадії

Вид осаду	Початкова вологість, %	Згущування		Зневоднення		Втрата твердої фази з фільтратом, %
		Кінцева вологість, %	Продуктивність по сухій речовині, кг/м·год	Кінцева вологість, %	Продуктивність по сухій речовині, кг/м·год	
Із первинних відстійників	94...95	89...90	10...15	84...87	5...10	30...50
Активний мул	99,3...99,5	95,5...97	8...10	93...95	3...8	20...40

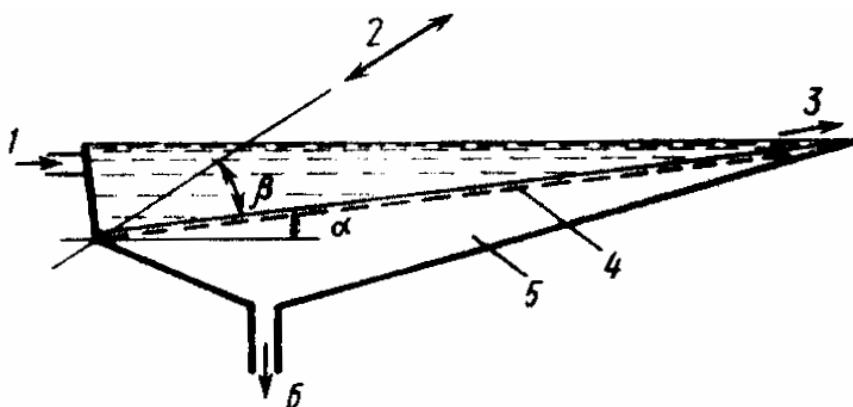


Рис. 6.4 Схема безнапірного віброфільтру лоткового типу: 1 - вихідний осад; 2 - вібратор; 3 - зневоднений осад; 4 - фільтрувальне полотно; 5 - збірник фільтрату; 6 - фільтрат; кут $\alpha = 4-8^\circ$.

Рекомендації щодо вибору установок механічного зневоднення При виборі обладнання для механічного обезводнення осаду потрібно

враховувати всю технологічну схему обробки та утилізації осадів, а також роботу споруд з очищення стічних вод (табл. 6.4).

Таблиця 6.3 – Технічна характеристика вібраційних грохотів

Марка грохота	Умовна ширина сита, мм	Довжина сита, мм	Число ярусів	Потужність двигуна, кВт
ГИЛ 32А	1250	2500	2	2,5
ГИЛ 32	1250	4000	2	4
ГИЛ 42А	1500	3000	2	5
ГИЛ 52	1750	4500	2	10
ГСЛ 41	1500	5000	1	3

Таблиця 6.4. Зіставлення методів механічного зневоднення осадів

Установки і рекомендовані ситуації їх застосування	Основні переваги	Основні недоліки
Вакуум-фільтри При наявності піску в осаді і при необхідності наступної термічної сушки	Можливість обробки без виділення і поширення запахів, скорочення витрати енергії на термосушку, відсутність швидкозношувальних вузлів	Застосування мінеральних реагентів, вакуум-насосів, періодичної заміни фільтрувальної тканини, підвищена витрата електроенергії
Стрічкові фільтр-преси При зброджуванні осаду в термофільних умовах з наступним використанням в якості добрива	Відсутність швидкозношувальних деталей і вузлів, скорочення витрати електроенергії, відсутність необхідності виділення великих включень і піску з осаду	Можливість поширення запаху, великі розміри у порівнянні з центрифугами, великі витрати енергії на терм осушки у порівнянні з вакуум-фільтрами, необхідність періодичної заміни фільтрувальної тканини
Камерні і рамкові фільтр-преси При попередній тепловій обробці чи наступному спалюванні зневодненого осаду	Низька вологість обезводненого осаду і енергетичні витрати на термосушку і спалювання	Низька питома продуктивність, підвищена витрата реагентів, періодичність дій, необхідність заміни фільтрувального полотна
Центрифуги При компостуванні і використанні осаду в якості добрива	Компактність установки, можливість роботи без реагентів із застосуванням флокулянтів	Необхідність вилучення із осаду великих включень і піску, періодична заміна шнеків, підвищенні у порівнянні з вакуум-фільтрами енергетичні витрати на термосушку
Віброфільтри При зневодненні важко фільтрувальних осадів, при наступному компостуванні осаду	Простота конструкції, відсутність швидкозношуваних деталей і вузлів	Невисока ступінь зневоднення, значні втрати твердої фази з фільтром, низька питома продуктивність

При проектуванні механічного зневоднення осаду передбачають аварійні мулові майданчики на 20% річної кількості осаду.

Для зневоднення осадів стічних вод найбільш доцільними є безперервно діючі, осаджувальні, горизонтальні центрифуги зі шнековим вивантаженням осаду (типу ОГШ). В осаджувальних центрифугах тверді частинки, що мають щільність більшу, ніж густина рідкої фази, під дією відцентрової сили відкладаються на внутрішній поверхні суцільного ротора і видаляються шнеком, а рідка фаза у вигляді кільцевого шару розташовується поблизу осі обертання ротора і безперервно виводиться з центрифуги. Схему центрифуги типу ОГШ показано на рис. 6.5.

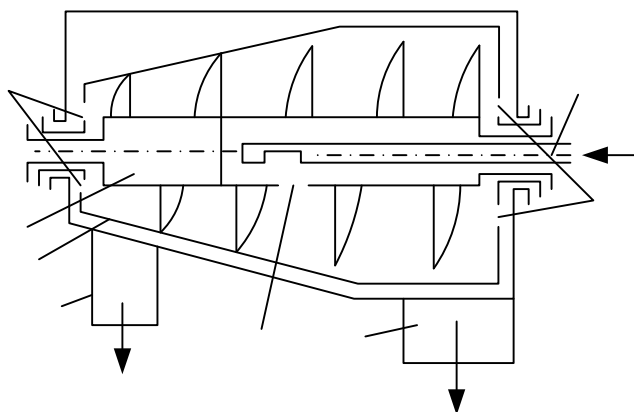


Рис. 6.5 Схема центрифуги типу ОГШ

Зневоднений осад подається в трубу 1 полого шнека 7 і через отвір 4 потрапляє в приймальну камеру ротора 6. Під дією відцентрової сили найбільш важкі частинки твердої фази осаду віджимаються до внутрішньої поверхні ротора, переміщуються шнеком і вивантажуються через вікна 8 і трубу бункера 5. Фугат витікає через зливні отвори 2 і зливу трубу 3. Для підвищення стійкості до абразивного впливу часток осадів поверхня шнеків покривається твердим сплавом.

Технічна характеристика центрифуг, що серійно випускаються Сумським машинобудівним виробничим об'єднанням, наведена в табл. 6.5. Технічна характеристика уточнюється згідно з паспортними даними заводу-постачальника. Центрифуга ОГШ-501 К-Ю з подовженим ротором (співвідношення довжини ротора до діаметра 3, 6) випускається також зі згущеним шнеком. Як дана центрифуга, так і центрифуга ОГШ-1001 К-01 (прямоточна), призначені для зневоднення осадів як з флокулянтами так і без них.

Центрифугування має ті ж переваги, що й вакуумфільтрація, тобто дозволяє автоматизувати процес зневоднення осадів, не залежить від кліматичних умов, сприяє скороченню потрібних площ і тривалості зневоднення осадів. Разом з тим осад на центрифугах можна зневоднювати без попередньої обробки хімічними реагентами, що для

станцій аерації пропускною спроможністю до 70-100 тис. м³/добу, а також при зневодненні осадів ряду виробничих стічних вод істотно спрощує експлуатацію установок з обробки осадів і підвищує їх економічні показники.

Центрифугування без застосування коагуляції осадів хімічними реагентами дозволяє отримувати кек вологістю 50-80%. Але винос зважених речовин з фугату при цьому досягає 35-60% кількості сухої речовини осаду. При поділі активного мулу винос зважених речовин з фугату значно зростає. Тому за кордоном центрифугування осадів застосовується з обробкою їх флокулянтами.

При безреагентному центрифугуванні осадів спосіб обробки фугату повинен обиратися залежно від методу очищення стічних вод, при цьому слід враховувати властивості оброблюваних осадів.

Таблиця 6.5 Технічна характеристика серійних центрифуг

Показники	Значення показників для центрифуг типів				
	ОГШ-352 К-03	ОГШ-502 К-04	ОГШ-631 К-02	ОГШ-1001 К-01	ОГШ-501 К-10
Розрахункова продуктивність по вихідному осаду, м ³ /год	4-7	6-12	20-40	50-80	15-25
Найбільший робочий діаметр ротора мм	350	500	630	1000	500
Робоча довжина ротора, мм	1000	930	2370	3600	1800
Частота обертання ротора, хв ⁻¹	2800-4250	2000-2650	2000	1000	2650
Фактор розділення	1500-3533	1100-1950	1420	560	1960
Габарити центрифуги з електродвигуном, мм:					
довжина	2200	2710	5100	6650	4000
ширина	1860	1990	2750	3600	2650
висота	1135	1526	1450	2130	1350
Маса без допоміжного обладнання, т	1,6	1,8	11,7	19	4,5
Потужність електродвигуна, кВт	18,5	28; 32	90	110	75

Примітки: 1. Більші значення розрахункової продуктивності центрифуг застосовуються при центрифугуванні активного мулу і аеробностабілізованої суміші. Продуктивність центрифуг вказана при роботі без застосування реагентів. При роботі з флокулянтами продуктивність центрифуг складає: ОГШ-501 К-10 – 8-15 м³/год, ОГШ-631 К-02 – 12-20 м³/год, ОГШ-1001 К-01 – 35-50 м³/год. 2. Освоюється випуск центрифуг ОГШ-501 К-11 такої ж продуктивності, як центрифуги ОГШ-502 К-04, і центрифуг ОГШ-631 К-05 такої ж продуктивності, як центрифуги ОГШ-631 К-02.

На рис. 6.6 наведені залежності ефективності затримання сухої речовини осадів від продуктивності центрифуг ОГШ-325. Ефективність затримання сухої речовини осаду первинних відстійників складає 45-55%,

збродженої суміші осаду первинних відстійників і ущільненого надлишкового активного мулу – 45-55%, суміші осаду з первинних відстійників і ущільненого активного мулу – 25-40%, сирого активного мулу-10- 30%. Найбільш висока ефективність затримання сухої речовини (52-65%) досягається при центрифугуванні збродженого осаду на двох'ярусних відстійниках.

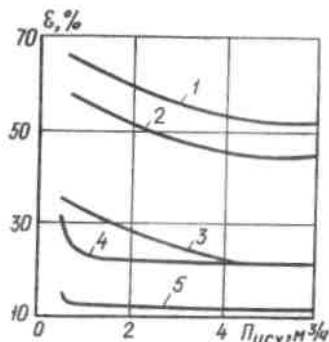


Рис. 6.6 Залежність ефективності ε – затримання сухої речовини від продуктивності центрифуги $\Pi_{\text{вих}}$ при $n = 2500 \text{ хв}^{-1}$ і $D_{\text{зл}} = 280 \text{ мм}$: 1 і 3 - для збродженого осаду відповідно Клімовської очисної станції і Люблінської станції аерації; 2 - для сирого осаду Люблінської станції аерації; 4 і 5 - для активного мулу відповідно Редкінської і Люблінської станції аерації.

Щільність твердої фази осадів Люблінської станції аерації коливалася в межах $1,3-1,6 \text{ г/см}^3$. Однак 90% частинок, що містяться в активному мулі, мали розмір менше $0,15 \text{ мм}$, в той час як в осаді первинних відстійників таких часток було лише близько 45%. Тому ефективність затримання сухої речовини осаду первинних відстійників значно більше, ніж активного мулу. У той же час ефективність затримання сухої речовини мінералізованого мулу Редкінської станції аерації, щільність твердої фази якого становила $1,7-1,8 \text{ г/см}^3$, а зольність 42-46,5%, в 2-2,5 рази вище ефективності затримання активного мулу Люблінської станції аерації зольністю 28-35%.

Підвищення продуктивності центрифуг знижує ефективність затримання сухої речовини при обробці осаду первинних відстійників і осаду з двох'ярусних відстійників, але не сприяє помітному впливу на ефективність затримання сухої речовини активного мулу. Зі збільшенням відносної частоти обертання ротора і шнека збільшується продуктивність центрифуг по сухій речовині, але знижується ступінь зневоднення, тому відносна частота обертання шнека також підлягає регулюванню.

На станції аерації м. Орехово-Зуєва проводилися дослідження на центрифугах ОГШ-502 К-04 і ОГШ-631 К-02. Зневодненню піддавався сирій осад з первинних відстійників і його суміш з надлишковим активним мулом (у співвідношенні 1:1 за об'ємом). Для вилучення з осаду великих включень перед центрифугами встановлювалися решітки з отворами 16 і 25 мм, а для подрібнення – решітка-дробарка РД-200.

Показники оптимального режиму роботи центрифуги ОГШ-502 К-04, наведено в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 Показники оптимального режиму роботи центрифуги ОГШ-502 К-04

Показники	Значення показників при центрифугуванні	
	осаду з первинних відстійників	суміші осаду з первинних відстійників і активного мулу
Частота обертання ротора, хв ⁻¹	2000	2300
Діаметр зливного циліндра, мм	425	425
Продуктивність, %	8-10	12-14
Ефективність затримання сухої речовини, %	50-60	30-40
Вологість кеку, %	73-77	80-85

У порівнянні з центрифугою ОГШ-502 К-04 центрифуга ОГШ-631 К-02 має не тільки більший діаметр ротора, але і більше відношення довжини ротора до діаметра (3,76), що забезпечує збільшення площі поверхні осадження, і, отже, підвищення продуктивності центрифуги більш ніж в 3 рази. Індекс продуктивності центрифуги - 3600 м² відповідає аналогічному показнику однотипних зарубіжних центрифуг. Для збільшення терміну експлуатації шнека здійснена наплавка витків твердим сплавом. Технологічна схема установки з центрифугою ОГШ-631 К-02 представлена на рис. 6.7.

Осад з первинних відстійників або його суміш з активним мулом по трубопроводу надходить в резервуар, з якого насосом перекачується в ємності і далі самопливом по трубопроводу через грати-дробарку РД-200 надходить на центрифугу. Крім того, насосом можна подавати осад на центрифугу, минаючи ємності. Зневоднений осад надходить з центрифуги на стрічковий конвеєр. Фугат по трубопроводу направляється або в головні очисні споруди, або на мулові майданчики. Ємності забезпечені переливним трубопроводом, за допомогою якого при безперервній роботі насоса підтримується постійний напір на центрифугі.

У процесі досліджень змінювалася продуктивність центрифуги по продукту, що зневоднюється і діаметр зливного циліндра. Найбільш висока ефективність затримання сухої речовини була отримана при мінімальному співвідношенні діаметра зливного циліндра до діаметра ротора, рівному 0,75 ($D_{\text{зл}} = 470$ мм на рис. 6.8).

При центрифугуванні сирого осаду первинних відстійників зміна продуктивності центрифуги від 5 до 40 м³/год призводила до зниження ефективності затримання сухої речовини з 63 до 45% і підвищенню вологості кеку з 70 до 77%.

При спільному зневодненні на центрифугі сирого осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу ефективність затримання

сухої речовини при тих же значеннях продуктивності відповідно становить 52 і 23%.

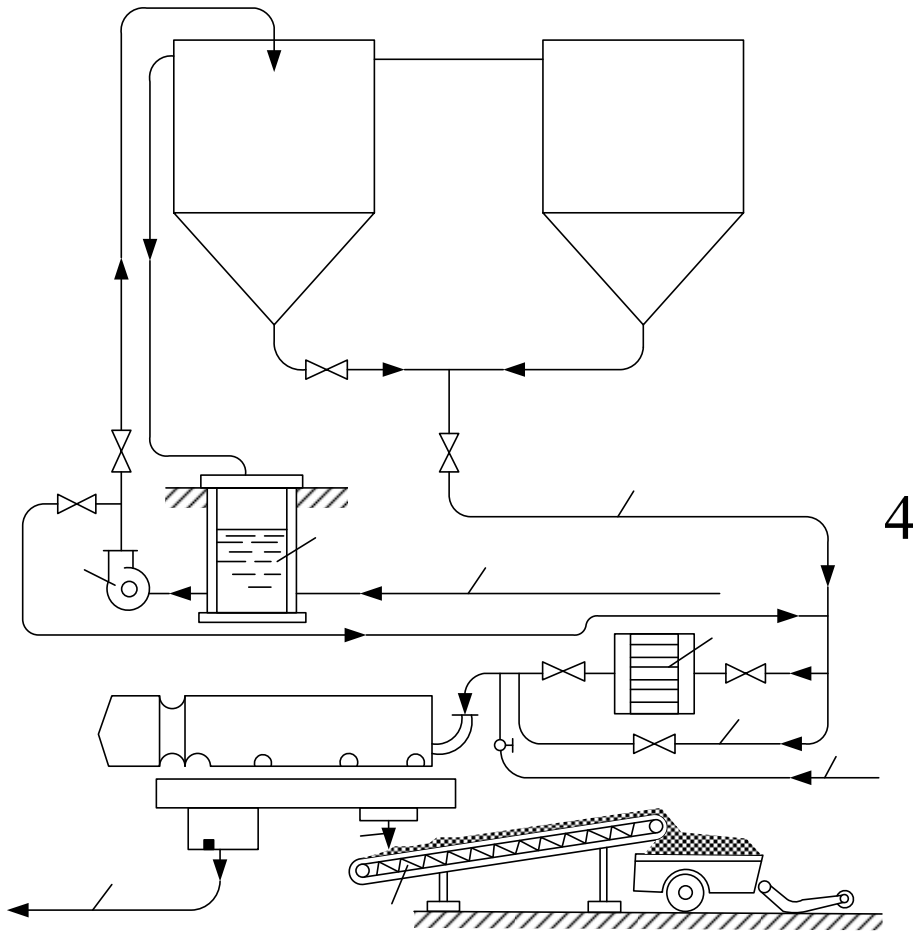


Рис. 6.7 Схема установки для обробки суміші сирого осаду і активного мулу на центрифугі ОГШ 631 К-2: 1 - подача суміші сирого осаду і активного мулу; 2 - прийомний резервуар, 3 - живильний насос, 4 - ємності для завантаження сумішшю осадів; 5 - подаючий трубопровід; 6 - ґрати; 7 - обвідна лінія; 8 - центрифуга ОГШ 631 К-2; 9 - лінія фугату; 10 - скід кеку; 11 - конвеєр; 12 - трубопровід для промивання центрифуги

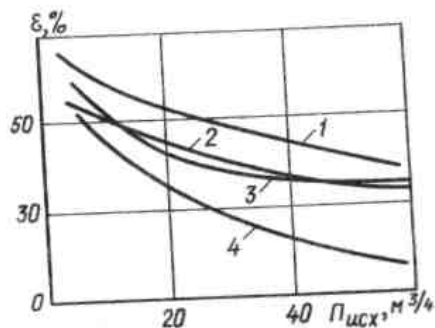


Рис. 6.8 Залежність ефективності ε затримання сухої речовини від продуктивності центрифуги $\Pi_{\text{вих}}$: 1, 3 – для сирого осаду відповідно при $D_{\text{зл}} = 470$ і 510 мм; 2 - для сирого осаду в суміші з фугатом ($D_{\text{зл}} = 470$ мм); 4 - для суміші сирого осаду з активним мулом ($D_{\text{зл}} = 470$ мм)

2

8

При збільшенні відношення діаметра зливного циліндра до діаметра ротора до 0,81 ($D_{зл} = 510$ мм) ефективність затримання сухої речовини осадів знижувалася на 4-9%. Ефективність затримання сухої речовини істотно залежить не тільки від типу осаду, що зневоднюється, режиму роботи, але і від складу очищуваних стічних вод.

Досвід експлуатації центрифуг показав, що для збільшення терміну служби шнеків для виділення з осадів піску доцільно встановлювати напірні гідроциклони діаметром 300-500 мм. На гідроциклони подається суміш осаду з первинних відстійників і активного мулу концентрацією 8-15 г/л. Застосування гідроциклонів не виключає необхідності вилучення з осадів крупних включень або їх подрібнення [4,5].

У табл. 6.6 наведені рекомендовані для застосування при проектуванні дані про ефективність затримання сухої речовини та вологості кеку при зневодненні осадів міських стічних вод на центрифугах, технічні характеристики яких наведено в табл. 6.5.

Таблиця 6.6 Ефективність затримання сухої речовини осадів та вологість кеку при зневодненні на центрифугах

Тип осаду	Ефективність затримання сухої речовини, %	Вологість кеку, %
Сирий або зброджений з первинних відстійників	45-65	65-77
Анаеробно або аеробно зброджена суміш осаду з первинних відстійників і активного мулу	24-40	70-80
Сирий активний мул при зольності, %		
28-35	10-15	70-80
38-42	15-25	65-75
44-47	25-35	50-70
Суміш осаду з первинних відстійників і активного мулу	25-40	65-85

Якщо прийняти, що концентрація завислих речовин в освітленій стічній рідині зростає пропорційно збільшенню концентрації цих речовин у вихідній стічній рідині, то сталу концентрацію зважених речовин C_n у вихідній стічній рідині при безперервному додаванні до неї фугату можна розрахувати за формулою

$$C_n = C_1 + \frac{C_1 m (1 - K)}{1 - m (1 - K)} \quad (6.11)$$

де C_1 – концентрація завислих речовин в надходить стічної рідини; m – коефіцієнт виносу зважених речовин з фугату; K – коефіцієнт виносу зважених речовин з відстійників.

З досвіду роботи очисних споруд відомо, що при відстоюванні протягом 1 год ефект освітлення стічної рідини в первинних відстійниках в середньому становить 40%, а кількість завислих речовин, виділених на центрифугі ОГШ-325 продуктивністю 4 м³/год, становить 47,5%. При початковій концентрації завислих речовин $C_1 = 1$ $K = 0,6$; $m = 0,525$. Підставивши значення C_1 , K і m в рівняння (6.11), отримаємо $C_n = 1,26$.

На основі результатів дослідів встановлено, що додавання до вихідної рідини фугату збільшує концентрацію стічної рідини приблизно на 26%. При ефективності затримання сухої речовини на центрифугі 65% $m = 0,35$. Підставивши значення K і m в формулу (6.11), отримаємо, що концентрація завислих речовин у стічній рідині при безперервному скиданні в неї фугату збільшується на 21%. Як показують досліді, збільшення концентрації завислих речовин на 21% в стічній рідині викликає збільшення концентрації завислих речовин в освітленій стічній рідині. При застосуванні технологічної схеми центрифугування осаду первинних відстійників або осаду з двох'ярусних відстійників зі скиданням фугату в головні очисні споруди необхідно враховувати збільшення навантаження на очисні споруди на 20-35%, а також відповідне збільшення кількості осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу.

На Клімовській очисній станції проводилося порівняння ефективності підсушування збродженого осаду і фугату на мулових майданчиках з природною основою і дренажем. Зброджений осад з двох'ярусних відстійників самопливом надходив у проміжну ємність, звідки насосами по напірній лінії перекачувався в два баки для осаду ємністю по 5 м³ кожний. З баків осад самопливом надходив на центрифугу. Витрата осаду регулювалася засовами. Зневоднений на центрифугі осад за допомогою стрічкового конвеєра складувати на одному з майданчиків, а фугат стікав в лоток, по якому прямував на мулові майданчики. На рис. 6.9 показана залежність товщини шару збродженого осаду і фугату від тривалості підсушування на мулових майданчиках. Як видно з (рис. 6.9), на напіввиробничих майданчиках за три літніх місяці вдалося здійснити два напуски збродженого осаду шарами товщиною по 0,4 м. За цей же час здійснено чотири напуску фугату. При цьому дренаж на майданчику, відведеному для підсушування вихідного осаду, кольматувався. На майданчику, відведеному для фугату, підсушений осад розтріскувався, що забезпечувало задовільну роботу дренажу при подальшому напуску фугату. При підсушуванні фугату легкі частинки спливали, а внизу залишалася рідина, що легко фільтрується. При підсушуванні збродженого осаду частина зважених речовин спливала, а частина осідала, тому фільтрація і випаровування відбувалися повільно. Зменшення концентрації сухої речовини в осаді після його центрифугування, а також більш швидка фільтрація фугату на мулових

майданчиках свідчать про те, що попереднє центрифугування зброженого осаду дозволяє скоротити площу мулових майданчиків в 2-4 рази.

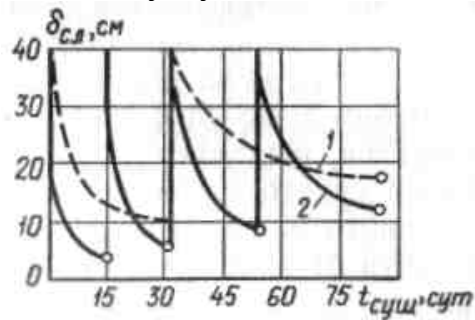


Рис. 6.9 Залежність товщини шару $\delta_{зл}$ зброженого осаду (концентрація 6,5%) і фугату (концентрація 2,4%) від тривалості сушіння $t_{суш}$ на мулових майданчиках: 1 – для вихідного осаду; 2 – для фугату

У результаті біологічного очищення стічних вод на міських станціях аерації утворюється надлишковий активний мул, приріст якого становить 100-200 г сухої речовини на 1 м³ очищеної стічної рідини. Зазвичай надлишковий активний мул з вторинних відстійників прямує на мулоущільнювач, де ущільнюється до 97-98%-ої вологості, звідки перекачується для спільної обробки з осадом первинних відстійників. При спільному їх зброженні збільшується обсяг метантенків і знижується вихід газу.

Внаслідок наявності в зброженій суміші активного мулу погіршується подальше її підсушування на мулових майданчиках, а при зневодненні на вакуум-фільтрах збільшуються винос завислих речовин при попередній промивці суміші та витрата хімічних реагентів на коагуляцію.

Нами досліджено новий метод обробки активного мулу, при якому активний мул з вторинних відстійників піддається центрифугуванню, виділений кек дегельмінтизується, а фугат використовується для біологічного очищення стічних вод замість циркулюючого активного мулу або в суміші з ним.

Раніше центрифуги безперервної дії для зневоднення активного мулу без його попередньої коагуляції не застосовувалися. Пояснюється це тим, що при центрифугуванні більша кількість сухої речовини мулу залишається в фугаті. Між тим, якщо на центрифуги подавати весь активний мул, що осідає у вторинних відстійниках, то кількість сухої речовини, що виділяється при центрифугуванні, перевищить кількість сухої речовини, що утворюється в процесі приросту активного мулу при очищенні стічних вод. Отже, в залежності від необхідної кількості сухої речовини, що виділяється при центрифугуванні, на центрифуги може подаватися весь активний мул з вторинних відстійників або його частина.

Технологічна схема запропонованого методу показана на рис. 6.10. Очищена стічна рідина в суміші з фугатом надходить в аеротенки, де відбувається її біологічне очищення. З аеротенків мулова суміш подається у вторинні відстійники, звідки очищена рідина віддається по трубопроводу, а активний мул, що осів направляється на центрифуги. Фугат, отриманий в результаті центрифугування, використовується як циркулюючий активний мул.

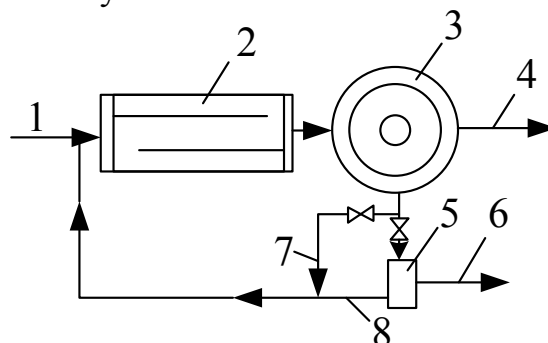


Рис. 6.10 Схема обробки активного мулу та очистки стічної рідини: 1 – подача стічної рідини; 2 – аеротенки; 3 – вторинні відстійники; 4 – відведення очищеної рідини; 5 – центрифуга; 6 – відведення кеку на термообробку; 7 – подача циркулюючого активного мулу; 8 – подача фугату

Наведена схема досліджувалася на Люблінській і Редкінській станціях аерації. На першій станції аерації активний мул оброблявся на центрифугі ОГШ-325, а фугат використовувався для очищення стічної рідини на моделях аеротенків.

Результати дослідів показали, що якість очистки стічної рідини за допомогою фугату не поступається якості очищення її за допомогою циркулюючого активного мулу. При тривалості очищення 1-24 год значення БСК₅ відповідно знижувався при використанні фугату до 73-5 мг/л, а циркулюючого активного мулу – до 65-5 мг/л, кількість завислих речовин в обох випадках знижувалося до 55-8 мг/л. Муловий індекс циркулюючого активного мулу коливався в межах 65-118, а фугату – 80-127.

Кількість забруднень, знятих в аеротенку, де циркулює активний мул, коливалося в залежності від початкового значення БСК₅, тривалості аерації та дози мулу від 46 до 162 мг БСК₅ на 1 г сухої речовини мулу.

Для перевірки процесу біологічного очищення при багаторазовому використанні фугату, а також визначення ефективності відстоювання мулової суміші на станції аерації оброблялося 2000 м³/добу побутових стічних вод в двох аеротенках місткістю 370 м³ кожний. Після монтажу центрифуги ОГШ-325 система подачі і розподілу стічної рідини була переобладнана так, щоб аеротенки могли працювати паралельно: один – на циркулюючому активному мулі за звичайною схемою, інший – на

суміші активного мулу з вторинних відстійників з фугату, тобто за новою схемою. На рис. 6.11 показана схема технологічного процесу очищення стічної рідини на Редкінській станції аерації. У приймальну камеру аеротенка подавався циркулюючий активний мул з вторинного відстійника. Надлишковий мул скидався в один з двох'ярусних відстійників, який на час проведення експериментів був відключений. У приймальну камеру аеротенка подавався фугат і частина активного мулу з вторинного відстійника. Очищена в аеротенках і освітлена у вторинних відстійниках стічна рідина хлорувалась і скидалася в Московське море.

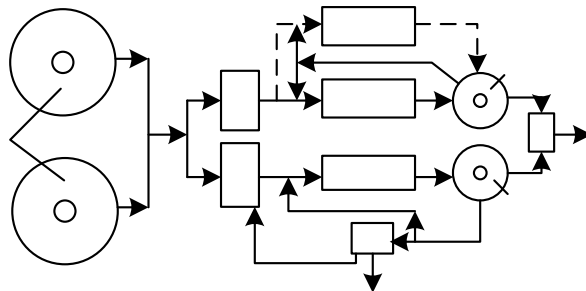


Рис. 6.11 Схема очищення стічної рідини на Редкінській станції аерації:
1 – двох'ярусні відстійники; 2, 3 – прийомні резервуари; 4-6 – аеротенки;
7, 8 – вторинні відстійники; 9 – контактні резервуари; 10 – центрифуга

До установки центрифуги і проведення дослідів аеротенки працювали на часткове самоокислення активного мулу. Відсутність споруд для скиду і обробки надлишкового активного мулу призводила до підвищення концентрації мулу в аеротенках до 10 г/л і періодичному виносу завислих речовин з вторинних відстійників. Зольність мулу досягала 46,5%. Мікроскопічний аналіз показав, що лише в трьохчотирьох пробах мулу з десяти зустрічалися живі мікроорганізми – коловертки, вартіцелли, епістіліс. До проведення дослідів з очищення стічної рідини за допомогою фугату концентрація активного мулу в аеротенках була знижена до 4-5 г / л і зольність мулу до 40-42%. Експерименти почали проводити, коли в активному мулі стали нормально розвиватися мікроорганізми. У процесі досліджень постійна концентрація активного мулу підтримувалася в аеротенку, який працював за звичайною схемою, – скиданням надлишкового мулу в порожній двоярусний відстійник, а в аеротенку, який працював за новою схемою, – центрифугуванням частини активного мулу з вторинного відстійника. Результати дослідів з очищення стічної рідини циркулюючим мулом і сумішшю мулуз фугатом наведені в табл. 6.7.

Тривалість перебування мулової суміші в аеротенках коливалася від 4,5 до 5 год. Інтенсивність аерації підтримувалася постійною і дорівнювала 4,3 м³/(м²·год). Приріст активного мулу при робочій його концентрації 4-5 г/л становив у середньому 100 г/м³ стічної рідини.

2

3

Таблиця 6.7 Порівняння якості очистки стічної рідини на промислових аеротенках Редкінської станції аерації циркулюючим активним мулом і сумішню мулу з фугатом.

Період проведення дослідів	Характеристика стіної рідини, що надходить в аеротенки, мг/л		Концентрація активного мулу, г/л, в аеротенку, що працював по схемі		Характеристика очищеної стічної рідини, мг/л, в аеротенку, що працював по схемі			
	БСК ₅	вміст завислих речовин	звичайній	новій	звичайній		новій	
					БСК ₅	вміст завислих речовин	БСК ₅	вміст завислих речовин
Лютий	4,5-4,6	4,2-4,5	4,5-4,6	5	13-18,8	13,4-15	2,2-4,8	4
Березень - квітень	4,5-4,6	4-4,2	4,5-4,8	4,8	10,8-19,4	15,1-19	4,7-11	7
Травень	148-150	65-166	39-75	100	14,2-25	14,2-17	2,4-5,2	6
Липень	153-200	110-112	69-78	120	10,8-20,6	15,2-19,3	4,6-12	7

З табл. 6.7 видно, що БСК₅ очищеної стічної рідини Редкінської станції аерації, як в аеротенках, що працювали за звичайною схемою, так і в аеротенках, що працювали за схемою з додаванням фугату, була практично однаковою і коливалась від 4,6 до 7 мг/л – в літній час і від 10,8 до 20,6 мг/л – у зимовий. Кількість завислих речовин у стічній рідині, освітленій у вторинних відстійниках, також була практично однаковою і не перевищувала 25 мг/л. Таким чином, застосування центрифуг для виділення надлишкового активного мулу з використанням фугату для очищення стічної рідини не погіршує якості її очищення в порівнянні з якістю очищення за звичайною схемою. Разом з тим дана схема дозволяє відмовитися від ущільнення, зброджування і підсушування надлишкового активного мулу; ці операції замінюються однією - центрифугуванням осідаючого у вторинних відстійниках активного мулу.

Число центрифуг $n_{ц}$, необхідний для виділення надлишкового активного мулу, може бути визначено за формулою

$$n_{ц} = MQ_{cp} / 240C\varepsilon \cdot \Pi_{вих}, \quad (6.12)$$

де M – приріст активного мулу, г/м³; Q_{cp} – витрата стічної рідини, яка надходить на аеротенки, м³/добу; C – концентрація активного мулу, що надходить на центрифуги з вторинних відстійників, г/л; ε –

ефективність затримання сухої речовини осаду, %; $\Pi_{\text{вих}}$ – продуктивність центрифуги по вихідному осаду, $\text{м}^3/\text{год}$.

На станціях аерації досліджувалася схема зневоднення на центрифугах осаду первинних відстійників з аеробною стабілізацією фугату в суміші з неущільненого надлишковим активним мулом (рис. 6.12). За цією схемою фугат сирого осаду змішувався з неущільненим надлишковим активним мулом і подавався в мінералізатор, що представляє собою ємність типу аеротенка, в якій відбувалася аерація суміші фугату сирого осаду з неущільненим надлишковим активним мулом. Максимальний розпад беззольної речовини суміші за період аерації 6-8 діб інтенсивності аерації $2,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ становив 35-38%. Збільшення тривалості аерації понад 8 діб призводило до незначного збільшення розпаду беззольної речовини, тому прийнятий час аерації можна вважати достатнім для здійснення аеробної стабілізації суміші. Мінералізована суміш протягом 3-5 год ущільнювалася до вологості 97%. Іноді в процесі ущільнення спостерігалось спливання осаду. Щоб уникнути цього застосовується інша схема, за якою центрифугуванню піддається суміш осаду, активного мулу і стабілізованого фугату або аеробностабілізований осад, отриманий від стабілізації ущільненої суміші осаду первинних відстійників, активного мулу і фугату. У наведених схемах фугат направляється в мінералізатор або в ущільнювач, що виключає збільшення навантаження на очисні споруди станції.

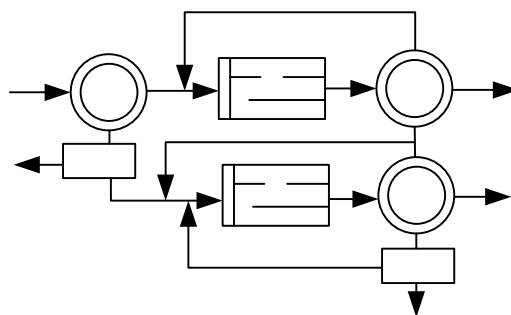


Рис. 6.12 Схема зневоднення на центрифугах осаду первинних відстійників з аеробною стабілізацією фугату в суміші з неущільненим мулом: 1 – первинний відстійник; 2 – подача циркулюючого активного мулу; 3 – аеротенк; 4 – вторинний відстійник; 5 – відведення очищеної стічної рідини; 6 – подача активного мулу; 7 – мінералізатор; 8 – улоущільнювач; 9 – відведення зливної води на очищення; 10, 14 – центрифуги; 11 – відведення кеку на термообробку; 12, 13 – подача фугату

Індекс центрифугування суміші в процесі аерації зменшується з 8-10 до $4-6 \text{ см}^3/\text{г}$, що дозволяє збільшити ефективність затримання сухої речовини. Ущільнена аеробно-стабілізована суміш поряд з центрифугуванням може зневоднюватись на вакуум-фільтрах або

підсушуватися на мулових майданчиках. Період стабілізації може визначатися за питомим опором осаду і в ряді випадків може бути скорочений. При подачі сирих осадів на центрифуги необхідна установка екрануючих ґрат з розміром щілин 16 мм, решіток-дробарок або дезінтеграторів, а також гідроциклонів для вилучення піску.

Різні схеми центрифугування осадів та обробки фугату здійснені на ряді станцій аерації:

- схема центрифугування суміші осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу зі скиданням фугату в головні очисні споруди - на очисних станціях міст Орехово-Зуєво і Воскресенська Московської області;

- схема центрифугування збродженого осаду зі скиданням фугату на мулові майданчики – на Репінській очисній станції;

- схема центрифугування осаду первинних відстійників з аеробною мінералізацією фугату в суміші з активним мулом – на станціях аерації міст Новоросійськ, Краснодар та ін.

- За кордоном є підприємства з очищення стічних вод, де застосовуються комбіновані методи зневоднення осадів. Наприклад, згущення і подальше зневоднення на центрифугах або фільтр-пресах, зневоднення на вакуум-фільтрах і подальше дозневоднення на стрічкових фільтр-пресах і т. п. В основному ці процеси здійснюються із застосуванням поліелектролітів [14-20].

6.3. Реагентне центрифугування осадів

Зневоднення на шнекових осаджувальних центрифугах дозволяє виділяти лише частину сухої речовини з осадів, інша частина виноситься з фугату. Для підвищення ефективності затримання сухої речовини осад обробляють хімічними реагентами. Використання в якості реагентів хлорного або сірчастого заліза, солей алюмінію та інших мінеральних реагентів не дає суттєвого збільшення ефективності затримання сухої речовини, так як утворені при коагуляції пластівці в порожнині центрифуги руйнуються під дією відцентрової сили. Введення в осад вапна та інших присадних матеріалів сприяє поліпшенню їх водовіддачі і підвищенню ефективності затримання сухої речовини. Однак при введенні необхідних високих доз вапна збільшується абразивність осадів і відбувається швидке зношування шнеків центрифуг.

За способом фірми «Лурґі» (ФРН) осад розділяється на центрифугах, а фугат обробляється на вакуум-фільтрах. Зневоднений осад після центрифуг і вакуум-фільтрів спалюють, а золу піддають фракціонуванню на циклоні, після чого дрібні фракції золи додають до фугату, а великі використовують для створення фільтруючого підшару на вакуум-фільтрі. При додаванні 2-4 г золи на 1 г сухої речовини фугату вологість його

знижується з 96-97 до 85% і фільтрувальні властивості різко поліпшуються.

Фірмою «Лургі» розроблений також так званий метод «Карбофлок», при якому проводиться центрифугування осаду, попередньо обробленого вапняної суспензією і двоокисом вуглецю.

Зброджений або сирий осад змішується з вапняною суспензією і подається в ущільнювач. Ущільнений осад нейтралізується вуглекислою в спеціальному баку з мішалкою (сатураторі) до утворення карбонату кальцію і перекачується у вторинний ущільнювач, де відстоюється. Осад з вторинного ущільнювача з концентрацією сухої речовини 8-12% обробляється на шнековій центрифугі, а відстоюана в первинному і вторинному ущільнювачах рідина повертається на головні споруди. БСК₅ відстоєної рідини при обробці збродженого осаду становить 1000-2000 мг/л, а при обробці суміші осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу – 200-300 мг/л. Зневоднений на центрифугі осад вологістю 55-65% після термічної обробки використовується як добриво, а фугат повертається в первинний ущільнювач осаду. Витрата вапна на попередню підготовку осаду у перерахунку на активну частину (по СаО) складає 15-20% маси сухої речовини осаду.

Поряд з перевагами, які дає використання центрифуг для обробки осадів, метод «Карбофлок» має і певні недоліки, основний з яких – необхідність застосування вапна і двоокису вуглецю. Однак завдяки концентрації сухої речовини кеку і відносно невеликої витрати хімічних реагентів метод «Карбофлок» в певних умовах має переваги перед вакуум-фільтрацією осаду, при якій також використовуються хімічні реагенти.

Для обробки осадів міських стічних вод, що містять велику кількість виробничих стічних вод, в якості реагентів можуть застосовуватися фосфоровмісні біогенні добавки (наприклад, суперфосфат). Введення в осади суперфосфату підвищує ефективність затримання сухої речовини при центрифугуванні, а залишковий його вміст в фугаті дозволяє вводити в аеротенки необхідну кількість біогенних добавок. Одночасно підвищується цінність зневоднених осадів при їх використанні в якості добрива.

Найбільш ефективними для обробки осадів при центрифугуванні є синтетичні органічні поліелектроліти. Обробка органовмісних осадів міських стічних вод флокулянтами катіонного типу дозволяє підвищити ефективність затримання сухої речовини до 95-99% в порівнянні з 70-80%, одержуваними при обробці їх мінеральними реагентами.

На рис. 6.13 наведена схема приготування та дозування флокулянтів, що зберігаються на складі. У міру необхідності з них готують розчин, для чого флокулянти завантажують у попередньо заповнюються водою резервуари 2, обладнані мішалками для повільного перемішування. Кількість води, що заливається визначається мірниками. При зволоженні

водою частинки флокулянта набухають і поступово переходять в розчин, при цьому в'язкість досягає декількох сот пуаз. Щоб уникнути злипання частинок флокулянти в резервуар можуть завантажуватися за допомогою ежектора, в який зверху вниз через воронку подається флокулянт і тангенціально підводиться вода. Резервуар для розчинення флокулянта може бути і резервуаром для його дозування і зберігання на період використання (до 2 діб). На більш великих спорудах для зберігання і дозування використовуються інші резервуари. Якщо флокулянт знаходиться в резервуарі 5 в концентрованому вигляді, то в процесі його дозування проводиться додаткове розведення до потрібної концентрації (0,1-0,2%) водою, що вводиться за допомогою ежектора у всмоктувальну лінію насоса-дозатора осаду.

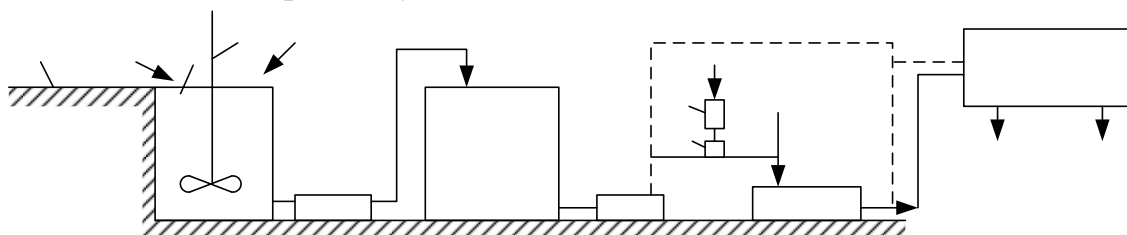


Рис. 6.13 Схема приготування флокулянтів: 1 – склад флокулянта; 2 – резервуар для розчинення флокулянта водою; 3 – мішалка; 4 – насос; 5 – резервуар для зберігання і дозування флокулянта; 6 – насос-дозатор флокулянта; 7 – подача води для розведення флокулянта; 8 – водолічильник; 9 – ежектор; 10 – всмоктувальна лінія осаду; 11 – насос-дозатор осаду; 12, 13 – подача флокулянта відповідно в напірну лінію і в порожнину центрифуги; 14 – центрифуга; 15 – відведення зневодненого осаду; 16 – відведення фугату; I – подача флокулянта; II – подача води

При центрифугуванні осадів за допомогою флокулянтів велике значення має місце введення флокулянта. В залежності від змішаності з осадом, розміру та міцності утворених пластівців він може вводитися у всмоктувальну лінію, в напірну лінію насоса-дозатора або безпосередньо в порожнину центрифуги. Останній метод отримав найбільше застосування. З урахуванням цього ряд фірм виготовляє центрифуги зі спеціальними пристроями для введення флокулянта і змішування його з осадом. Такі центрифуги випускаються фірмами «Альфа-Лаваль», «Гумбольд», «Флотт-Веґ», «Ешшер-Вісс», «Пеннволт», «Чорі» і ін.

Для роботи з флокулянтами серійно випускаються центрифуги типу ОГШ-501 К-10 і ОГШ-1001 К-01 (діаметр ротора 500 і 1000 мм). Зазначені центрифуги відрізняються відношенням довжини ротора до діаметра, частотою обертання ротора, кутом конусності, фактором поділу, пристроєм введення флокулянта і т.п. Для вибору необхідних типів флокулянтів, їх дози і місця введення в осад проводять спеціальні дослідження, зокрема, застосовують пересувні установки з центрифугами невеликої

продуктивності. Дозу флокулянта також визначають на лабораторних приладах. Показуючий ефективність флокулянта лабораторний прилад включає циліндр для заливки осаду, металеві пластинки (кільця), фільтрувальний папір і датчик. Швидкість водовіддачі визначається по виділенню вологи зовні пластинки, при цьому електричний ланцюг замикається і відключається годинник, що показує час фільтрації. Для визначення стійкості флоків (ланцюгів), що утворюються служить циліндр з мішалкою на тривалість перебування осаду в роторі центрифуги 10, 20 і 30 с. Оптимальна доза флокулянта може бути чітко визначена за ζ -потенціалом.

Від правильно обраної дози і типу флокулянта залежать продуктивність центрифуги, вологість кеку, ефективність затримання сухої речовини, витрата флокулянтів. При обробці осадів флокулянтами дрібні частинки об'єднуються в ланцюзі, тому частина зв'язаної вологи з них видаляється, однак частина все ж залишається. Зі збільшенням ефективності затримання сухої речовини дрібних частинок затримується більше, внаслідок чого збільшується вологість зневодненого осаду. Для збільшення ефективності затримання сухої речовини і зниження вологості зневодненого осаду потрібне збільшення тривалості перебування осаду в роторі центрифуги. З цією метою центрифуги виготовляються з подовженим ротором і трохи зниженою частотою його обертання. Зменшення частоти обертання ротора подовжує термін роботи шнека. Разом з тим збільшення тривалості перебування осаду в роторі при роботі з флокулянтами на звичайних центрифугах веде до пониження їх продуктивності. При зниженій продуктивності потрібна підвищена витрата флокулянта.

Для різних осадів і флокулянтів витрата останніх складає від 1,2-2 до 10-11 кг/т сухої речовини. При цьому більше флокулянтів потрібно для зброджених осадів і менше – для сирих. Першорядне значення має точність дозування флокулянта і осаду. Для цієї мети застосовуються спеціальні насоси черв'ячного типу з гумовими вставками, обладнані регуляторами для зміни частоти обертання. Насоси такого типу випускаються фірмами «Моно», «Нетч», «Борнеман» та ін Для перекачування зневоднених осадів доцільно застосовувати спеціальні шнекові або поршневі насоси.

Метод центрифугування сирої суміші осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу з обробкою їх флокулянтами застосовується на центральній станції аерації на острові Білому в м. Санкт-Петербург (пропускною здатністю 750 тис. м³/добу). Крім вакуум-фільтрів, на станції аерації змонтовані центрифуги фірми «Гумбольд» (ФРН) із застосуванням для обробки осадів флокулянтів фірми «Аллайд Коллоїдз».

На центральній станції аерації у м. Сочі проводилися досліди по зневодненню осадів з флокулянтами і без них на центрифугі ОГШ-1001К-01. Витрата катіонних флокулянтів залежно від їх типу і складу осадів коливався від 0,2 до 0,7% маси сухої речовини осадів. Результати дослідів наведено в табл. 6.8. Проведені досліди показали, що дана центрифуга може застосовуватися для зневоднення різноманітних осадів як з флокулянтами, так і без них.

Таблиця 6.8 Результати дослідів по центрифугуванню осадів на станції аерації м. Сочі

Тип осаду, що зневоднюється	Продуктивність центрифуги при роботі, м ³ /год		Вологість зневодненого осаду, %		Ефективність затримання сухої речовини, %	
	з флокулянтом	без флокулянта	з флокулянтом	без флокулянта	з флокулянтом	без флокулянта
Аеробно-стабілізована суміш осаду первинних відстійників і активного мулу	35-55	50-80	80-85	75-80	90-99	30-40
Зброджена суміш осаду первинних відстійників і активного мулу	50-70	60-90	79-85	73-83	91-99	35-60
Зброджений осад первинних відстійників	50-70	60-90	73-78	70-75	79-94	60-73
Активний мул	-	30-90	-	80-90	-	20-50

6.4 Підсушування осаду на мулових майданчиках

Застосування вакуум-фільтрів, центрифуг і фільтр-пресів є найбільш перспективним напрямком обробки осадів, однак мулові майданчики ще широко застосовуються як в нашій країні, так і за кордоном. Крім того, при механічних методах зневоднення осадів мулові майданчики відповідно до вимог будівельних норм і правил у ряді випадків проектуються в якості аварійних споруд, що розраховуються на обробку двомісячного обсягу осаду.

Мулові майданчики призначені для природного зневоднення осадів. Допускається проектувати майданчики на природному підставі з дренажем і без нього, на штучній асфальтобетонній підставі з дренажем,

каскадні з відстоюванням і поверхневим видаленням мулової води, майданчики-ущільнювачі. Останні два типи рекомендуються при питомому опорі осаду $r > 4000 \cdot 10^{-10}$ см/г.

Навантаження осаду на мулові майданчики H_p , м³/м², в рік в районах з $t_{ср. рік}$ повітря 3– 6°С і середньорічною кількістю атмосферних осадів до 500 мм приймають за табл. 6.9.

Таблиця 6.9 – Навантаження на мулові майданчики в рік, м³/м²

Характеристика осаду	Тип мулового майданчика				
	На природній підставі	На природній підставі з дренажем	На штучній асфальтобетонній підставі з дренажем	Каскадне з поверхневим видаленням мулової води	Майданчики-ущільнювачі
Зброджена в мезофільних умовах суміш осаду з первинних відстійників і активного мулу	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5
Такий самий, в термофільних умовах	0,8	1,0	1,5	1,0	1,0
Зброджений осад із первинних відстійників і осад із двоjarусного відстійника	2,0	2,3	2,5	2,0	2,3
Аеробно стабілізована суміш активного мулу і суміші із первинних відстійників чи стабілізований активний мул	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5

Навантаження на мулові майданчики в інших кліматичних умовах визначаються з урахуванням кліматичного коефіцієнта.

Корисна площа мулових майданчиків, м²,

$$A_n = 365 \cdot \frac{Q}{H_p}, \quad (6.13)$$

де Q – обсяг осаду, м³/добу. Кількість карт приймається не менше чотирьох. Площу мулових майданчиків слід перевіряти на заморожування. Для заморожування осаду допускається використання 80% площі мулових майданчиків. Висота огорожувальних валиків, м,

$$h = 0,1 + 0,94 \cdot Q \cdot \frac{T}{A_n}, \quad (6.14)$$

де T – тривалість або період заморожування (кількість днів з температурою повітря нижче -10°C).

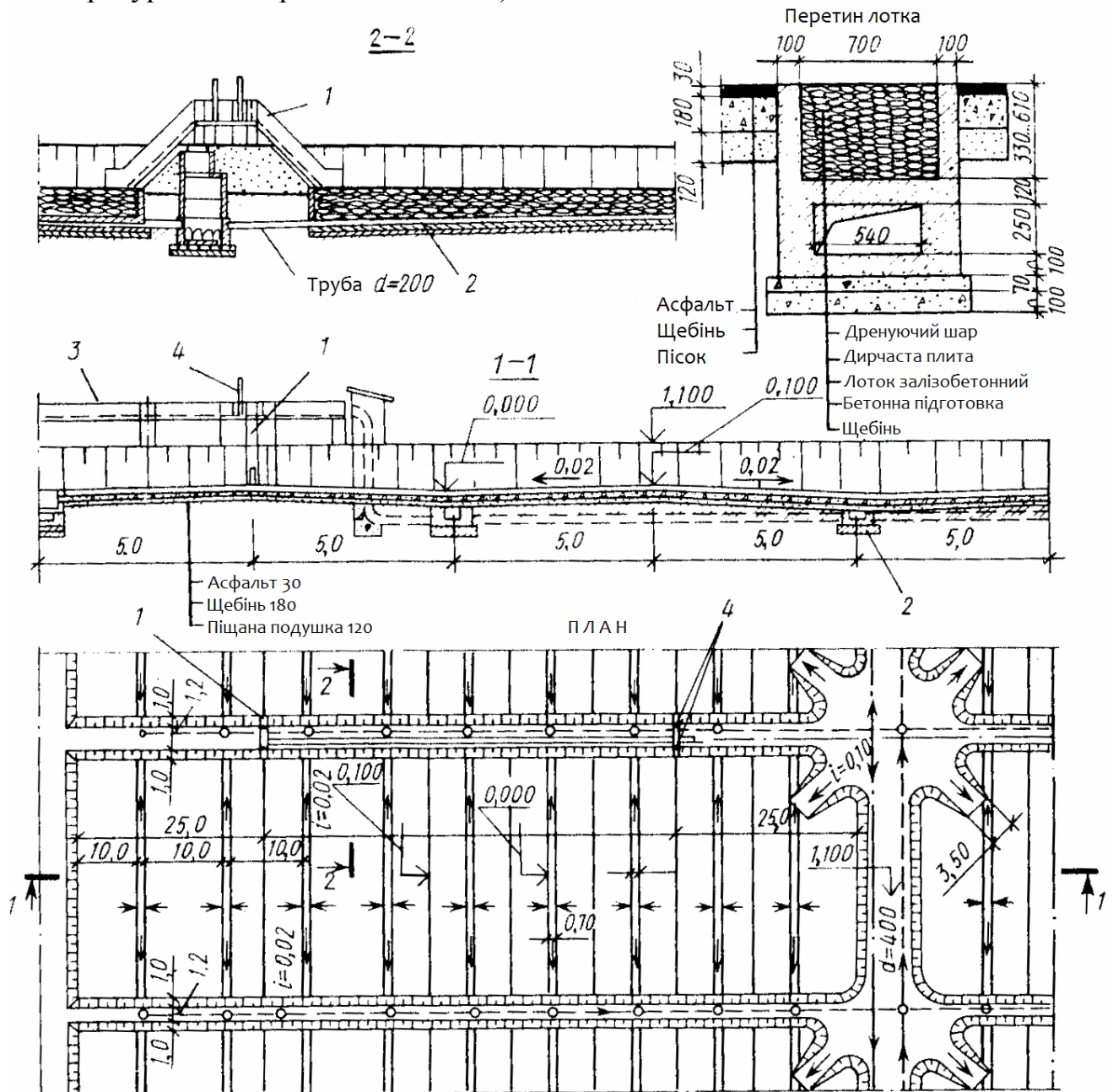


Рис. 6.14. Асфальтовані мулові майданчики з дренажними лотками:
 1 - зливний лоток (залізобетонний); 2 - дренажний лоток (залізобетонний);
 3 - розвідний лоток (залізобетонний); 4 - шибер

Мулові майданчики на природному підставі проектують в фільтруючих ґрунтах. При глибині залягання ґрунтових вод менше 1,5 м від поверхні карти потрібно передбачати дренаж.

Ширина карт при двосторонньому напуску осаду при вологості осаду 93 ... 95% може становити 20 ... 25 м, а при вологості 97% – до 100 м.

Мулові майданчики з поверхневим видаленням мулової води проектують в мало-фільтруючих ґрунтах для очисних споруд продуктивністю більше 10000 м³/добу. Конструктивно вони оформляються у вигляді каскадів, які з 4–8 карт кожний. Число каскадів 4–7. Ширина карт 30–100 м (при ухилах місцевості 0,004–0,08), 50–100 м ($i=0,1-0,04$), 60–100 м ($i\leq 0,01$). Співвідношення ширини до довжини 1:2–1:2,5. Кількість мулової води 30–50% кількості зневоднюється осаду. Її забруднення по зважених речовинах 1000–2000 мг/л, по $BCK_{новн}$ – 1000–1500 мг/л.

Мулові майданчики на асфальтобетонній основі мають карти шириною 20–30 м і довжиною 100–150 м. Уздовж карт на відстані 10 м один від одного розташовують дренажні лотки шириною 0,7–1,0 м і глибиною 0,4–0,6 м. Поздовжній ухил лотків $i=0,02$. Конструкція майданчиків наведена на рис. 6.14.

Мулові майданчики-ущільнювачі проектуються тільки для добре розшарованих осадів у вигляді прямокутних залізобетонних резервуарів глибиною до 2 м з випуском мулової води з різних рівнів. Ширина карт 9–18 м. Карти мають пандуси з нахилом до 0,12 для можливості в'їзду механізмів.

Досвід роботи мулових майданчиків московських станцій аерації показав, що піщані основи і дренаж мулових майданчиків швидко кольматуються, у зв'язку з чим набули застосування мулові майданчики на природній основі. При навантаженні на такі майданчики, рівному 1 м³/(м²·год), для станції аерації пропускною здатністю 1 млн. м³ стічних вод за 1 добу під мулові майданчики потрібно понад 200 га корисної площі. Необхідність збільшення навантаження на мулові майданчики та інтенсифікації їх роботи призвела до створення декількох конструкцій майданчиків. В даний час застосовуються мулові майданчики на природній основі без дренажу і з дренажем, на штучній дренажній основі, на асфальто-бетонній основі, а також каскадні мулові майданчики з відстоюванням і поверхневим видаленням мулової води, мулові майданчики з гравійними колодязями, майданчики-ущільнювачі, майданчики з механічним видаленням осаду та ін. Однак зміна конструкції мулових майданчиків у багатьох випадках не дає бажаних результатів.

Безумовно, кліматичні фактори впливають на швидкість підсушування осадів, але не є вирішальними при виборі навантаження на мулові майданчики.

Вивчення складу і властивостей осадів міських стічних вод показало, що не тільки продуктивність фільтруючих апаратів, але і навантаження на мулові майданчики в значній мірі залежить від типу і водовіддачі осаду.

Механізм дії мулових майданчиків в основному зводиться до наступних процесів:

- ущільнення осаду і видалення рідкої фази з поверхні;
- фільтрація рідкої фази через шар осаду і видалення її з допомогою дренажу;
- випаровування рідини з вільної поверхні осаду.

При підсушуванні залежно від конструкції майданчика і властивостей осаду зазначені процеси можуть поєднуватися один з іншим.

Аналіз даних експлуатації ряду очисних станцій показав, що є певний зв'язок між значеннями питомого опору осаду і роботою мулових майданчиків. Так, на станції аерації м. Калінінграда при вологості зброженої суміші 94,8% і її питомому опорі $25800 \cdot 10^{10}$ см/г навантаження на 1 м^2 мулових майданчиків становила $0,35 \text{ м}^3/\text{рік}$. Дренаж швидко кольматувався, і майданчики працювали лише на випаровування рідини.

На Курьяновській станції аерації для підсушування зброженого в термофільних умовах осаду застосовуються мулові майданчики на природній основі каскадного типу з відстоюванням і поверхневим видаленням мулової води. Після заповнення карт мулового майданчика осадом і верхнього зливу відокремленої мулової води подальше зневоднення осаду здійснюється шляхом випаровування з поверхні залишкової вологи. Вологість осаду після зливу води знижується з 97 до 95%, а після підсушування протягом року – до 90-92%. З урахуванням підсушування до вологості 75-80% і прибирання висушеного осаду циклічність наповнення окремих каскадів мулового майданчика коливається від 3 до 6 років. Навантаження на ці мулові майданчики становить в середньому $0,9-1,1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$; середній питомий опір даного осаду – $9000 \cdot 10^{10}$ см/г.

На Люблінській станції аерації при вологості зброженої суміші 97% і її середньому питомому опорі $7000 \cdot 10^{10}$ см/г навантаження на майданчики з природною основою складало $1,2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

На станції аерації м. Сочі при вологості зброженого осаду 97% і його питомому опорі $610 \cdot 10^{10}$ см/г навантаження на 1 м^2 мулових майданчиків з дренажною основою досягало $3,5 \text{ м}^3/\text{рік}$. При цьому основна кількість вологи видалялася шляхом фільтрації.

Якщо в рівнянні (5.1) для визначення питомого опору осаду прийняти величини ρ , F і η постійними, то

$$\tau = \nu^2 C / K, \quad (6.15)$$

З рівняння (6.15) випливає, що для осадів однакової концентрації при роботі дренажу в аналогічних умовах час, необхідний для фільтрації осаду до певної концентрації, пропорційний його питомому опорі.

У реальних умовах, однак, як було зазначено вище, зневоднення осаду на мулових майданчиках відбувається не тільки внаслідок фільтрації, але також в результаті поверхневого зливу рідини і випаровування з вільної поверхні.

Дослідження, проведені на напіввиробничих майданчиках з перевіркою отриманих результатів на мулових майданчиках станцій аерації кількох міст Англії, показали, що швидкість видалення води з осадів зливом з поверхні (декантацією) і випаровуванням з вільної поверхні також залежить від питомого опору осадів. Звідси випливає, що конструкцію мулових майданчиків так само, як і навантаження на них, слід вибирати залежно від значення питомого опору осаду.

На рис. 6.15 показано вплив питомого опору зброджених осадів вологістю 96,75% на швидкість фільтрації і випаровування для осаду з питомим опором $\gamma = 190 \cdot 10^{10}$ см/г (криві 1) і осаду з питомим опором $\gamma = 2900 \cdot 10^{10}$ см/г (криві 2). Осад з меншим питомим опором зневоднювався на мулових майданчиках значно швидше (30 діб), ніж осад з більш високим питомим опором (110 діб). У першому випадку до 68% загальної кількості води видалялось шляхом фільтрації і лише до 27% шляхом випаровування, у другому випадку, навпаки, близько 70% води видалялось випаровуванням і тільки до 25% фільтрацією. При цьому на випаровування потрібно значно більше часу, ніж на фільтрацію.

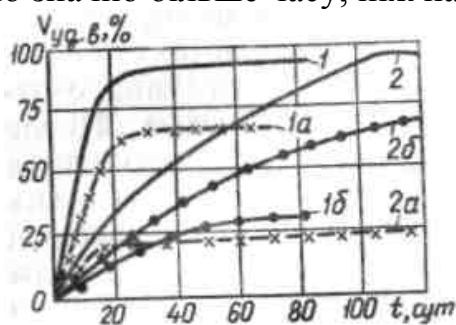


Рис. 6.15 Залежність обсягу видаленої води $V_{\text{в,в}}$ від тривалості підсушування на мулових майданчиках: 1 і 2 – загальна кількість води, що видаляється відповідно при $R = 190$ і 2900 см/г; 1а і 2а – кількість води, що видаляється фільтрацією; 1б і 2б – те ж, випаровуванням.

Інтенсивність випаровування з вільної поверхні осаду залежить від швидкості вітру, вологості і температури повітря та інтенсивності сонячної радіації. Для обліку інтенсивності випаровування осаду використовуються емпіричні формули ω , см³/с, в залежності від швидкості вітру V_b :

при швидкості $V_b \leq 100$ см/с

$$\omega = 3,24 \cdot 10^{-9} L^{0,73} B^{0,8} (\rho_{\omega} - \rho_a)(1 + 0,12V_b^{0,8c}); \quad (6.16)$$

при швидкості $V_b \leq 100 \div 300$ см/с

$$\omega = 1,6 \cdot 10^{-9} L^{0,77} B(\rho_o - \rho_a)(1 + 0,12v_n^{0,85}), \quad (6.17)$$

де L і B – відповідно довжина і ширина площадки, см; ρ_o – тиск пари над випаровуваною поверхнею, Па; ρ_a – барометричний тиск, Па; v_n – швидкість повітряного потоку, см/с.

Інтенсивність випаровування (крім кліматичних факторів) в значній мірі залежить від виду випаровуваної з поверхні осаду вологи, гранулометричного складу твердої фази осаду і його вологовмісту.

Процес випаровування вологи ділиться на періоди з постійною і падаючою швидкістю. Вільна волога випаровується значно швидше, ніж зв'язана. По мірі зневоднення осаду швидкість випаровування вологи істотно сповільнюється.

З формули (6.15) випливає, що зі збільшенням концентрації осаду C при попередньому ущільненні або згущуванні можна скоротити час зневоднення осаду на мулових майданчиках шляхом зменшення обсягу рідини V , що видаляється. Однак у зв'язку з тим, що при ущільненні з осадів виділяється лише вільна вода, навряд чи при цьому можна істотно збільшити навантаження на мулові майданчики.

Для визначення часу підсушування осаду t діб, на мулових майданчиках, у закордонних джерелах наводиться така емпірична формула:

$$t = 0,3 \frac{G}{J_v} v'_{кр} - v_{кр} + 2,3v_{кр} \lg \frac{v_{кр}}{v'_{кр}}, \quad (6.18)$$

в якій

$$v_{кр} = 18,5(I_v G)^{1/2}; \quad l = I_1/I_v, \quad (6.19)$$

де G – навантаження по сухій речовині, кг/м²; I_v, I_1 – інтенсивність випаровування води відповідно з осаду і чистої води, мм/міс.

На рис. 6.16 наведена залежність навантаження на мулові майданчики по сухій речовині осаду від питомого опору збродженого осаду. На логарифмічній шкалі зазначена залежність виражається злегка опуклою лінією, яка наближається до прямої. Наведена на рис. 69 залежність перевірена, доповнена і уточнена на основі експериментів, проведених на моделях мулових майданчиків різних міст.

З рис. 6.16 випливає, що на основі значень питомого опору осадів можна визначати навантаження на мулові майданчики. Чим менше значення питомого опору осаду, тим більше навантаження можна призначити при правильному виборі конструкцій і умов експлуатації мулових майданчиків.

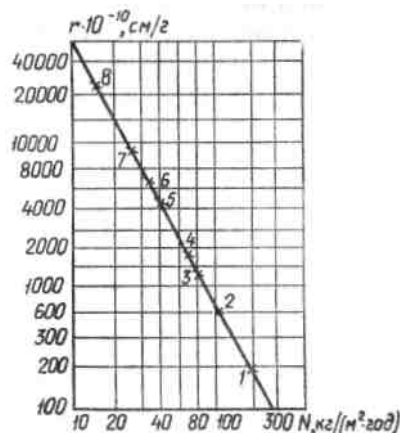


Рис. 6.16 Залежність навантаження на мулові майданчики N , кг сухої речовини на $1 \text{ м}^2/\text{год}$ від питомого опору зброженого осаду: 1 – для м. Брекнелла (Англія); 2 – для м. Сочі; 3 – для Кунцевської станції аерації; 4 – для двох'ярусних відстійників Клімовської очисної станції; 5 – для м. Хогсмілл Веллі (Англія); 6 – для Люблінської станції аерації; 7 – для Курьянівської станції аерації; 8 – для м. Калінінграда (Московської обл.)

Для отриманої залежності можуть застосовуватися такі мулові майданчики: на штучній піщано-гравійній основі з трубчастим дренажем – при $r \leq 1000 \cdot 10^{10}$ см/г; на природній основі з дренажем – при $r = 1000 \cdot 10^{10} \div 4000 \cdot 10^{10}$ см/г; із відстоюванням і поверхневим видаленням мулової води – $r \geq 4000 \cdot 10^{10}$ см/г.

Роботу мулових майданчиків можна інтенсифікувати попереднім промиванням осадів, що важко фільтруються очищеною стічною рідиною, коагуляцією їх хімічними реагентами, а також використанням заморожування і подальшого відтавання осадів, що знижують їх питомий опір. Дослідження, проведені в Англії, ФРН і США, показали, що попередня промивка дозволяє збільшити навантаження на мулові майданчики до 73%, а коагуляція осадів хімічними реагентами або введення в них присадних матеріалів – в 2-3 рази. Однак, при цьому при підготовці осадів, що важко фільтруються для зневоднення більш доцільно і економічно застосовувати механічні апарати.

Крім вище зазначених мулових майданчиків, за кордоном застосовуються мулові майданчики зі світлопроникним покриттям, зі штучною вентиляцією, із відсмоктуванням вологи під вакуумом та ін.

Належний ефект роботи мулових майданчиків досягається лише при їх правильній експлуатації. Кольматація основи відбувається тим швидше, чим гірше фільтруються осаді, що пов'язано з великим вмістом в таких осадах дрібнодисперсних і колоїдних частинок. При гарній водовіддачі осадів фільтрація здійснюється через шар відкладеного на основі осаду, а дренажна основа виконує роль підтримуючого і водовідвідного середовища. Шар одноразового напуску осаду на мулові майданчики може бути тим більше, чим менше значення питомого опору осаду.

Для підтримки належної пористості основи на деяких очисних станціях у Польщі, Фінляндії, Англії та інших країнах висушений осад забирається разом з верхнім шаром піску дренажної основи. Перед подальшим циклом зневоднення осаду дренажну основу відновлюють знову шляхом додавання тонкого шару піску.

При великих значеннях питомого опору осаду, коли основна волога видалається шляхом випаровування, час, необхідний на підсушування осаду, знаходиться приблизно в квадратичній залежності від глибини наповнення, а швидкість випаровування з вільної поверхні тим вище, чим тонший шар напуску осаду.

У ряді випадків при підсушуванні осадів на їх поверхні утворюється кірка, яка перешкоджає випаровуванню вологи з лежачих нижче шарів осаду. Для прискорення процесу підсушування осаду в Австрії, Англії та Франції запропоновані та випробувані спеціальні механізми для видалення або розпушення кірки, що утворюється. Слід зазначити, що при експлуатації мулових майданчиків потрібні або великі витрати робочої сили, або застосування дорогої механізації. Питання інтенсифікації роботи мулових майданчиків і механізації збирання з них висушеного осаду, незважаючи на багаторічний досвід експлуатації таких майданчиків, потребують додаткового детального вивчення.

Контрольні запитання

1. Опишіть технологічні процеси центрифугування осадів стічних вод.
2. Дайте характеристику основним закономірностям розподілу осадів на фази при центрифугуванні.
3. Опишіть технологічні процеси безреагентного центрифугування осадів і схеми обробки фугату.
4. Дайте характеристику реагентному центрифугуванню осадів.
5. Опишіть технологічні процеси підсушування осаду стічних вод на мулових майданчиках.

Розділ 7. МЕТОДИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ І ЗНЕСКОДЖЕННЯ ОСАДІВ

7.1. Знешкодження рідких осадів нагріванням

Практично всі збудники хвороб людини і тварин (бактерії, віруси та яйця гельмінтів) можуть потрапляти в стічні води і, отже, перебувати в осадах. 1 мл міських стічних вод містить більше 1 млрд різних бактерій (прото-, мета-і паратрофів). З огляду на те, що основні забруднення стічних вод випадають в осад, число бактеріального населення осадів в одиниці об'єму значно вище зазначеної цифри. Дослідження показали, що не тільки сирі, але і зброжені в мезофільних умовах осади містять велику кількість гельмінтів. Число яєць гельмінтів в 1 кг осаду з первинних відстійників, активного мулу і зброженої в мезофільних умовах суміші досягає декількох сотень; у механічно зневоднених осадах число яєць гельмінтів зростає відповідно збільшенню концентрації і досягає декількох тисяч на 1 кг осаду. Основну масу складають яйця аскарид, зустрічаються й інші види гельмінтів (власоглав, широкий лентец, солітер та ін.) Потрапляючи в сприятливі умови, яйця гельмінтів проходять інвазійну стадію розвитку і стають здатними заражати людей і тварин. При попаданні у водойми, а також при підсушуванні на мулових майданчиках і зберіганні незнешкоджених осадів частина яєць гельмінтів гине, а частина може зберігатися тривалий час або розвиватися до личинки. На мулових майданчиках рухливі личинки гельмінтів зберігають життєздатність до 5 років і більше.

Яйця гельмінтів гинуть в процесі нагрівання: при температурі 50°C протягом 2 год, при 60°C протягом декількох хвилин, а при 70°C протягом декількох секунд. Патогенна мікрофлора осадів при зброджуванні скорочується повільно, а деякі патогенні мікроорганізми зберігаються навіть при термофільному зброджуванні.

Осад, зброжений на протязі чотирьох тижнів, заражений сальмонелами в 2 рази більше, ніж сирий осад. У зброженого осаду 90% проб показали присутність сальмонел, в той час як в сирому осаді вони були виявлені лише в 45% проб. Звідси можна зробити висновок, що в процесі зброджування може відбуватися розмноження і накопичення сальмонел. Дослідження на ряді очисних станцій США, виявили, що при нагріванні до температури 52-56°C протягом 1-5 хв гине більшість патогенних мікроорганізмів, до 60°C протягом 15-20 хв – бактерії групи Coliform, а до 62-71°C протягом 0,25-30 хв – віруси.

Встановлено, що практично повне знешкодження осадів відбувається при їх нагріванні до 70°C. В процесі коагуляції осадів, подальшого їх зневоднення і прогрівання до температури 60 °C відбувається різке зниження числа мікроорганізмів.

Апарати для термічної обробки повинні забезпечувати прогрів усієї маси осаду до температури не менше 60°C. Обробка осадів при більш високих температурах дозволяє знищити в осадах не тільки яйця гельмінтів і патогенні мікроорганізми, але і віруси. Для знезараження і знешкодження осадів можуть застосовуватися термічні (прогрівання, сушка, спалювання), біотермічні (компостування), хімічні (обробка хімічними речовинами) та біологічні (знищення мікроорганізмів найпростішими, грибами і рослинами ґрунту) методи, а також різні фізичні впливи (радіація, струми високої частоти, ультразвукові коливання, ультрафіолетове випромінювання і т.п.). Практичне застосування в даний час отримали термічні, біотермічні та хімічні методи знезараження і знешкодження осадів.

У зв'язку з тим, що об'єм рідких осадів у кілька разів більше об'єму механічно зневоднених, їх прогрівання до зазначеної температури вимагає значно більшої витрати тепла. Проте у ряді випадків обробка рідких осадів нагріванням отримує практичне застосування. Це в першу чергу відноситься до теплової обробки осадів.

Для знешкодження і одночасного сушіння активного мулу можуть застосовуватися розпилувальні сушарки і сушарки-гранулятори, каталітичні генератори тепла з м'яким режимом сушіння, що запобігає спіканню органічних речовин. При зброджуванні осадів в термофільних умовах застосування додаткових установок для знезараження може не знадобитися. Перед зброджуванням в мезофільних умовах для знезараження осадів в деяких випадках можуть застосовуватися одно-, дво-і багатоступінчасті теплообмінники для нагрівання осаду до 60 °C і подальшого його охолодження перед надходженням в метантенки до 35°C. Теплообмінники можуть застосовуватися також для знезараження сирих або аеробностабілізованих осадів. Нагрівання рідких осадів до 60 °C, крім теплообмінників, може здійснюватися в спорудах типу метантенків, в установках із застосуванням заглибних пальників, нагрівачів із зустрічними струменями, в пастеризаторах та іншими методами.

При наявності парових котлів низького тиску пар для нагрівання осаду може подаватися у всмоктуючий трубопровід насосів. При цьому поряд із знезараженням досягається і поліпшення водовіддачі суміші внаслідок зниження в'язкості рідкої фази.

Найбільш ефективними апаратами для нагрівання рідких осадів є апарати з використанням безпосереднього контакту теплоносія з осадами, зокрема, заглибних пальників і нагрівачів із зустрічними струменями, що забезпечують барботаажний нагрів осадів. У процесі такого нагрівання осадів перемішування середовища відбувається зі швидкістю, яку важко досягти при механічному перемішуванні, при цьому температура вирівнюється по всьому об'єму. Крім того, продукти горіння вносять незначну кількість вологи в осади, тому вони додатково не розріджуються.

Сутність низькотемпературного (нижче 100°C) нагрівання зануреними газовими пальниками полягає в тому, що продукти згорання газу в пальниках пропускаються через середовище. Продукти горіння роздроблені на дрібні бульбашки з великою площею поверхні виходять в середовище, що нагрівається і, майже миттєво охолоджуються до температури, яка на $2-3^{\circ}\text{C}$ вище температури середовища, що нагрівається. При цьому забезпечується інтенсивна передача тепла, яке практично повністю засвоюється. Недоліком зазначеного способу є необхідність живлення пальника газом і повітрям середнього тиску через значний опір стовпа середовища, що нагрівається.

Відомий спосіб нагрівання рідкого осаду в зустрічних струменях газосуспензії. Принципова схема нагрівача показана на рис. 7.1. Осад ежектується двома спрямованими назустріч один одному високотемпературними ($600-800^{\circ}\text{C}$) струменями топкових газів, витікаючих з великою швидкістю (більше 100 м/с) з сопел камер згорання, в яких спалюється рідке чи газоподібне паливо.

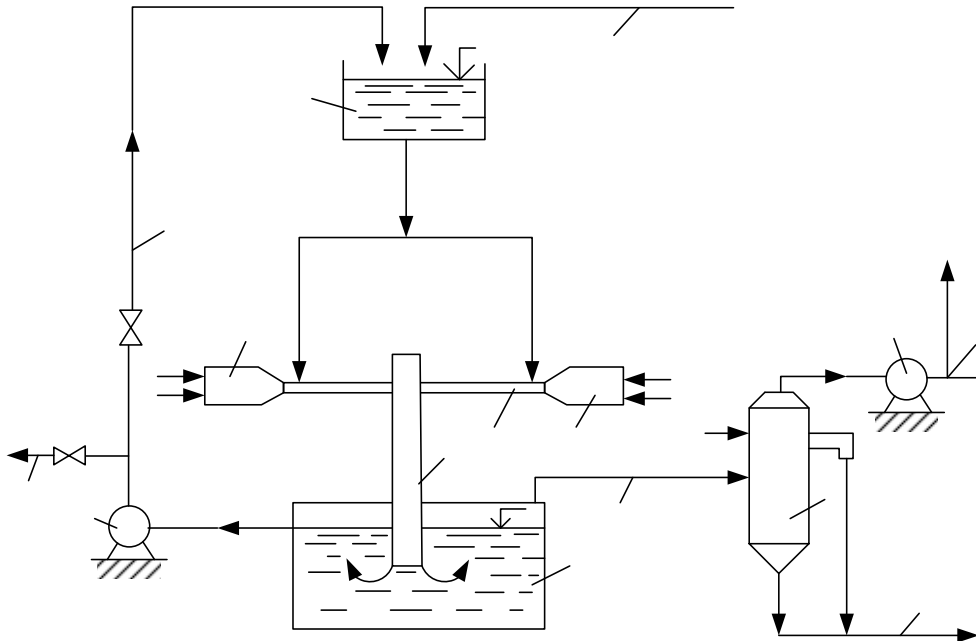


Рис. 7.1 – Схема нагрівача із зустрічними струменями для знезараження рідких осадів: 1 – насос; 2,3 – трубопроводи нагрітого осаду; 4 – резервуар осаду; 5 – трубопровід рідкого осаду; 6 – повітровод; 7 – подача палива; 8 – камера згорання; 9 – диспергаційно-нагрівна камера; 10 – пневмотруба; 11 – бак нагрітого осаду; 12 – газохід; 13 – трубопровід технічної води; 14 – димосмок; 15 – викид відпрацьованих газів в атмосферу; 16 – газоочисник; 17 – випуск шламу в каналізацію.

Передбачена додаткова обробка осаду шляхом пропускання його в суміші з топковими газами через шар раніше нагрітого осаду, що дозволяє збільшити час контакту теплоносія з осадом і скоротити втрати тепла з газами, які відходять. Для гарантування необхідних параметрів нагріву

передбачена рециркуляція осаду з багаторазовим пропуском його через зону нагріву.

Інститутом Укрпівденьгідрокомунбуд (м. Одеса) запроєктований нагрівач осаду із зустрічними струменями для станції аерації пропускною здатністю 100000 м³/добу стічних вод. Продуктивність по осаду, що нагрівається становить 36 м³/год з витратою 250 кг/год гасу марки Т-1 чи Т-2 і 15500 кг/год повітря з надлишковим тиском 0,02-0,04 МПа.

За кордоном застосовується метод нагрівання осадів в теплообмінниках і реакторах методом пастеризації. Фірмою «Ферайнігте Кессельверке АГ» (ФРН) розроблена установка для безперервної пастеризації осаду при 65 °С протягом 30 хв в трубчастих теплообмінниках (рис. 7.2).

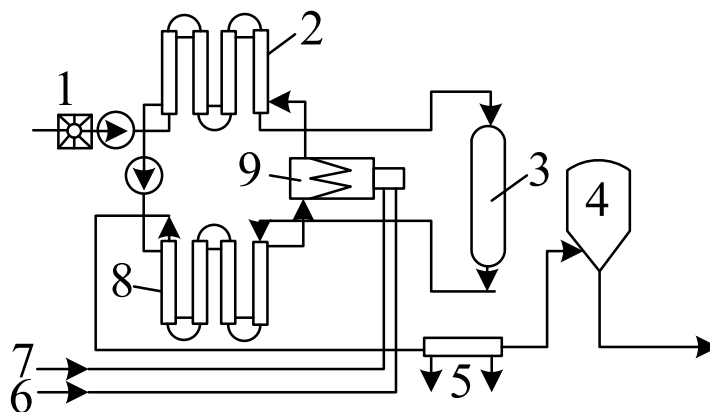


Рис. 7.2 Схема установки для безперервної пастеризації рідких осадів фірми «Ферайнігте Кессельверке АГ»: 1 – насос подачі осаду; 2 – перший теплообмінник; 3 – реактор; 4 – резервуар обробленого осаду; 5 – охолоджувач; 6 – подача повітря; 7 – подача природного газу; 8 – другий теплообмінник; 9 – водогрійний котел.

У Швейцарії, Швеції і деяких інших країнах набули застосування парові нагрівачі. Осад нагрівається до 70 °С і витримується 30 хв або до 80°С і витримується 5 хв. Фірмою «Альфа-Лаваль» (Швеція) випускаються спіральні теплообмінники (рис. 7.3), призначені для безперервної пастеризації осадів. Установка, що включає насос-дозатор і два послідовних теплообмінника, може обробляти 12-15 м³/год осаду вологістю 95-97% з витримкою при 80°С протягом 5 хв.

Застосовуються також установки періодичної дії. Витрата пари тиском 0,15 МПа складає 47 кг/м³ осаду. За даними фірм «Альфа-Лаваль» (Швеція) і «Тло Ролл» (Швейцарія), всі патогенні мікроорганізми і віруси при пастеризації знищуються. Однак, прогрівання рідких осадів не дає необхідного ефекту в тих випадках, коли осади якийсь час зберігаються без подальшої обробки (зневоднення), так як в них повторно розвиваються санітарно-показові мікроорганізми. Тому, як зазначалося вище, у багатьох

випадках доцільніше та економічно ефективніше здійснювати знезараження осадів після їх зневоднення.



Рис. 7.3 Схема спірального теплообмінника фірми «Альфа-Лаваль»: 1 – подача осаду; 2 – відведення відпрацьованого теплоносія.

7.2. Хімічне знезараження осадів

Поряд із знезараженням нагріванням застосовується хімічне знезараження як рідких, так і зневоднених осадів стічних вод.

Хімічне знезараження осадів проводиться вапном, аміаком, тиазоном, формальдегідом або сечовиною. Одночасно підвищується піддобрювальна цінність осадів.

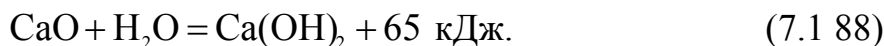
Необхідна для обробки осаду маса вапна, кг,

$$M_u = \frac{1,8 \cdot M_{oc} \cdot (1 + 0,85 \cdot W_{oc}^3) \cdot \Delta T}{1152 \cdot A - 0,92 \cdot \Delta T},$$

де M_{oc} – маса осаду, кг; W_{oc} – вологість осаду, частки одиниці; A – активність вапна, частки одиниці; ΔT – різниця температур – потрібна для нагрівання осаду і вихідної, °С.

Необхідна для знезараження температура 60 °С досягається при дозах вапна більш 30%. Для знезараження використовується мелене вапно, яке змішується з осадом в двохвалковому лопатовому змішувачі.

Встановлено, що введення в осаді вапна підвищує їх рН до 10 і більше. При зазначеному значенні рН сирі осаді втрачають запах і розвиток в них санітарно-показових мікроорганізмів (кишкової палички і енетрококка) пригнічується. Однак, лужне середовище істотного не впливає на яйця гельмінтів. Деформація і загибель яєць гельмінтів відбувається при введенні в осаді негашеного вапна, яке поряд з підвищенням лужності осадів забезпечує в процесі гасіння підвищення температури осадів. В процесі гасіння 1 моля (56 г) окису кальцію, що міститься у вапні, виділяється 65 кДж тепла. Процес гасіння протікає за формулою



При гасінні 1 кг хімічно чистого вапна, що містить 100% CaO, виділяється відповідно 1152 кДж тепла. При цьому витрачається 320 г води. Потрібна кількість тепла, кДж, для нагрівання осаду негашеним вапном може визначатися з виразу

$$Q_{\text{тр}} = (M_{\text{ос}} C_{\text{ос}} + M_{\text{в}} C_{\text{в}}) \Delta T, \quad (7.2)$$

де $M_{\text{ос}}$ і $M_{\text{в}}$ – маса, кг, відповідно осаду і вапна; $C_{\text{в}} = 0,92$ – питома теплоємність вапна, кДж/(кг·град); ΔT – різниця необхідної температури нагрівання осаду і вихідної, °С.

Питома теплоємність осаду $C_{\text{ос}}$ визначається за формулою

$$C_{\text{ос}} = 1,8(1 + 0,85W_{\text{ос}}^3), \quad (7.3)$$

де 1,8 – теплоємність сухої осаду вологістю 5-10%, кДж/(кг·°С); $W_{\text{ос}}$ – вологість осаду, частки одиниці. Кількість тепла, кДж, одержуваного при гасінні вапна з урахуванням його активності по CaO, складе

$$Q_{\text{тр}} = 1152A \cdot M_{\text{в}}, \quad (7.4)$$

де A – активність вапна, частки одиниці. З рівняння матеріального балансу можна попередньо розрахувати, наскільки може підвищуватися температура $\Delta T_{\text{р}}$ при введенні в осад певної дози вапна

$$\Delta T_{\text{р}} = \frac{1152A \cdot M_{\text{в}}}{M_{\text{ос}} C_{\text{ос}} + M_{\text{в}} C_{\text{в}}}. \quad (7.5)$$

Задаючи необхідну температуру, можна також визначити необхідну для обробки осаду масу вапна

$$M_{\text{в}} = \frac{M_{\text{ос}} C_{\text{ос}} \Delta T}{1152A - C_{\text{в}} \Delta T}. \quad (7.6 \ 93)$$

Виходячи з умови повного гасіння активного вапна в осаді, можна отримати також формулу для розрахунку вологості осаду після додавання до нього вапна

$$W_k = \frac{1000W_{oc} - 0,32A \cdot W_B}{M_{oc} + M_B}, \quad (7.7)$$

де W_B – вологість осаду, одержувана після додавання до нього вапна, частки одиниці. Необхідну кількість вапна M_B , кг, яку потрібно ввести в 1 т осаду для зниження його вологості до необхідної величини, можна визначити з виразу

$$M_B = \left(\frac{W_{oc} - W_k}{0,32 + W_k} \right) \frac{1000}{A}. \quad (7.8)$$

Наведені формули можуть використовуватися лише для орієнтовних розрахунків, що обумовлено неповним гасінням вапна. Основними причинами цього є неоднорідність вапна по крупності і якості частинок, а також наявність в осадах зв'язаної вологи з різними формами зв'язку з частинками твердої фази осаду. В результаті цього отримані розрахункові залежності вимагають певного коригування. У зв'язку з тим, що витрата вапна істотно залежить від вологості, а отже, від об'ємів оброблюваних осадів, доцільно здійснювати їх попереднє згущення або зневоднення.

Істотний вплив на ефективність знезараження осаду здійснюють також умови змішування вапна з осадом. Експериментальні дослідження по знезараженню осадів вапном проводилися на змішувачах трьох різних конструкцій. Перша серія дослідів проводилась на лабораторному кульовому млині типу ЛЕ-2181, призначеному для тонкого розмелу хімічних продуктів, фарб, вугілля і т.д. У проведених дослідях зневоднений осад вологістю 70-81% оброблявся грудковим вапном активністю 68%. У млині одночасно з помелом вапна протікала реакція його гасіння.

Результати дослідів показали, що при змішуванні осаду з вапном дозою 22,5-25,2% (по СаО) він прогрівався до 50-56°C при початковій температурі 16°C. Необхідна для знезараження температура 60°C досягалася при дозі вапна більш 30%. Концентрація осаду при цьому зростала до 50% і більше. Температурний максимум настає на 10-20-й хвилині змішування. Відмінність фактичного підвищення температури від розрахункового викликана незадовільними умовами перемішування. Більш рівномірне і повне змішування досягається при перемішуванні меленого вапна на двошнековому (двошалоному) змішувачі безперервної дії. Механічно зневоднений осад з початковою температурою 16°C після 3-хвилинного перемішування у змішувачі з вапном дозою 6% (по СаО) на виході мав температуру 35-36°C. Збільшення дози до 13,7% дозволило досягти температури 55-56°C. При додаванні вапна в кількості 23,5% осад нагрівався до 78-82°C, дана температура трималася близько 10 хв і через

40 хв знизилася до 46°C. Застосування вапна з активністю 71% призводить до підвищення температури обробки осаду.

У порівнянні з обробкою осаду на кульовому млині обробка осадів на двовалових змішувачах дозволяє знизити необхідну для знезараження дозу негашеного вапна. При рівній дозі вапна в цьому випадку досягається більш висока температура обробленого осаду [2-6, 19-26].

Значно спрощується технологічна схема знезараження при наявності меленого вапна. Рекомендована технологічна схема обробки осадів негашеним меленим вапном показана на рис. 75. Вапно доцільно зберігати в ємностях типу силосних башт із застосуванням перемішування для запобігання злежування, а в змішувач з осадом вапно подавати як механічними живильниками, так і пневмотранспортом. Ефективне змішування забезпечується в двовальному лопатевому змішувачі, проте на невеликих станціях аерації можуть використовуватися розчинозмішувальні машини періодичної дії.

Спосіб знезараження осадів негашеним вапном застосовується на деяких очисних спорудах у Фінляндії, ФРН, Швеції, США та інших країнах.

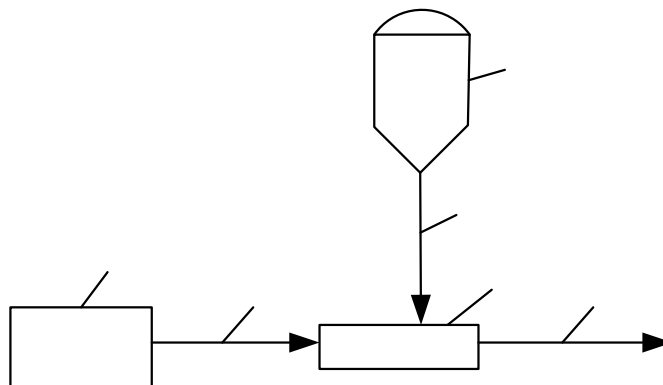


Рис. 7.4 Технологічна схема знезараження осаду негашеним вапном: 1 – ємність для зберігання негашеного вапна; 2 – корпус зневоднення осаду; 3 – конвеєр зневодненого осаду; 4 – трубопровід пневматичної подачі вапна; 5 – двовальний змішувач осаду з вапном; 6 – вивантаження знезараженого осаду

Для перемішування осаду з вапном застосовують шнекові насоси з плуговими змішувачами, лопатеві змішувачі та інше обладнання. При знезараженні невеликої кількості осадів може застосовуватися хлорне вапно, а також спирт, хлороформ, ефір, фенол та інші речовини, що розчиняють ліпідну оболонку яєць гельмінтів. Однак застосування зазначених реагентів пов'язано з високими витратами.

В останні роки набувають поширення способи знезараження осадів хімічними речовинами, які застосовуються самостійно або для удобрення ґрунту, або для знищення шкідливих ґрунтових мікроорганізмів або

бур'янів. До таких речовин відносяться аміак (аміачна вода), карбонат, формальдегід і ін

Повне знезараження механічно зневоднених осадів відбувається при змішуванні з аміачною водою в кількості 5% (по аміаку) по масі осаду і витримці не менше 10 діб або в кількості 8% і тривалості витримки не менше 5 діб з підтриманням температури суміші в межах 18-23 °С. При зниженні температури до 3-6 °С доза збільшується до 8-12% (щодо аміаку) з відповідним збільшенням тривалості витримки до 15-10 діб.

Застосування замість аміачної води безводного аміаку більш ефективно, так як для знезараження потрібні менші витрати аміаку, що пов'язано з екзотермічною реакцією його при розчиненні. У порівнянні з застосуванням аміачної води застосування безводного аміаку дозволяє отримувати знезаражений осад меншої вологості. Знезараження осадів безводним аміаком досягається при дозі 3% (по аміаку) по масі осаду і експозиції 10 діб. Для змішування осаду з аміаком можуть застосовуватися двовальні шнекові або лопатеві змішувачі безперервної дії. Для знезараження осадів можна використовувати тіазон, який застосовується для боротьби з галової нематодою в захищеному ґрунті. Тіазон в дозі 0,2-2% загальної маси осаду і експозиції 3-10 діб надає згубну дію не тільки на яйця гельмінтів, але і на патогенні мікробактерії, в тому числі туберкульозу, а також на яйця і личинки мух. Це забезпечує отримання епідеміологічно безпечного, придатного для добрива осаду, внесення якого в ґрунт дозволяє додатково здійснювати основну функцію тіазону, тобто знищувати в ґрунті збудників інфекцій, плісняву, фітонематод і бур'яни.

Овіцидна дія тіазону базується на блокуванні дихальних ферментів зародків продуктами розпаду, одержуваними в процесі гідролізу тіазону. Доза тіазону, що забезпечує дегельмінтезацію осадів різних станцій аерації, становить 0,25-0,30% маси осадів при перемішуванні в двороторному змішувачі з зетоподібними лопатями або стрічковому розчинозмішувачі періодичної дії протягом 60 хв і подальшій витримці під плівкою протягом 7-10 діб в буртах, що влаштовуються на майданчиках з твердим покриттям.

У США використовується технологія знезараження і підвищення вдобрювальної цінності осадів стічних вод шляхом обробки їх формальдегідом в поєднанні з сечовиною.

Застосування вапна, аміаку, тіазону, формальдегіду та сечовини дозволяє використовувати подвійну їх дію – на осаді і ґрунт, що призводить до зниження експлуатаційних витрат на знезараження осадів і підготовку їх до утилізації як добрива. Залишковий вміст в осадах зазначених речовин запобігає реактивації санітарно-показових мікроорганізмів і підтримує стабільність осадів. Разом з тим, тіазон, формальдегід і особливо аміак є токсичними речовинами, які вимагають

обережного поводження. Крім того, аміак вибухонебезпечний. Для запобігання забруднення ґрунту та ґрунтових вод азотом необхідно знати, скільки його міститься в ґрунті, і в залежності від цього встановлювати дозу внесення знезаражених осадів в ґрунт. Доза внесення осадів, оброблених іншими речовинами, також повинна встановлюватися з урахуванням їх дії. Для зниження дози реагентів можуть застосовуватися термохімічні або термомеханічні методи знезараження осадів.

7.3. Дегельмінтизація зневодненого осаду

Найбільш ефективно знешкодження механічно зневоднених осадів досягається термічною сушкою. Однак для станцій аерації пропускною спроможністю до 20-30 тис. м³/добу при транспортуванні осадів на невеликі відстані метод їх дегельмінтизації шляхом короткочасного прогрівання в ряді випадків виявляється економічно вигіднішим термічного сушіння осадів, при цьому внаслідок обмеження процесу випарювання вологи досягається значна економія палива. Аналіз техніки сушіння різних матеріалів показує, що для дегельмінтизації зневоднених осадів доцільно використовувати радіаційний спосіб з джерелами інфрачервоного випромінювання. На відміну від контактного методу передачі тепла до оброблюваного матеріалу або обдування його гарячими газами, де передача тепла в глиб матеріалу проводиться шляхом теплопровідності, інфрачервоні промені, проникаючи в матеріал, перетворюються всередині нього в теплову енергію, при цьому потік тепла збільшується в порівнянні з потоком тепла при конвективній сушці.

Дегельмінтизація радіаційним термічним нагріванням зневоднених осадів є найбільш простим способом їх знешкодження. Технічні дані камери дегельмінтизації наведено в табл. 7.1, а схема – на рис. 7.5.

Таблиця 7.1 – Технічні параметри камери дегельмінтизації типу КДГМ

Показники	Значення
Продуктивність по зневодненому осаді, м ³ /год	0,4...0,6
Швидкість руху стрічки металевого транспортера, м/хв.	0,7
Товщина шару кека на стрічці, мм	10...25
Довжина стрічки, мм (по осям барабанів)	4500
Ширина, мм:	
Стрічки	1200
Камери	1600
Тиск газу в мережі, МПа	0,007...0,024
Витрата газу на один пальник, м ³ /год	0,56...1,06
Кількість пальників ГК-27-У1	24
Висота установки пальників над шаром кека, мм	100...200
Вид палива	Природний газ

Теоретична кількість теплоти, максимально потрібна на дегельмінтизацію 1 м^3 осаду, зневодненого до 80%-вої вологості, при нагріванні осаду з 10 до 60°C становить 560 МДж. Камери КДГМ рекомендуються для знезараження осадів перед використанням їх в якості добрива на станціях аерації продуктивністю до 20–30 тис. м^3 /добу стічних вод.

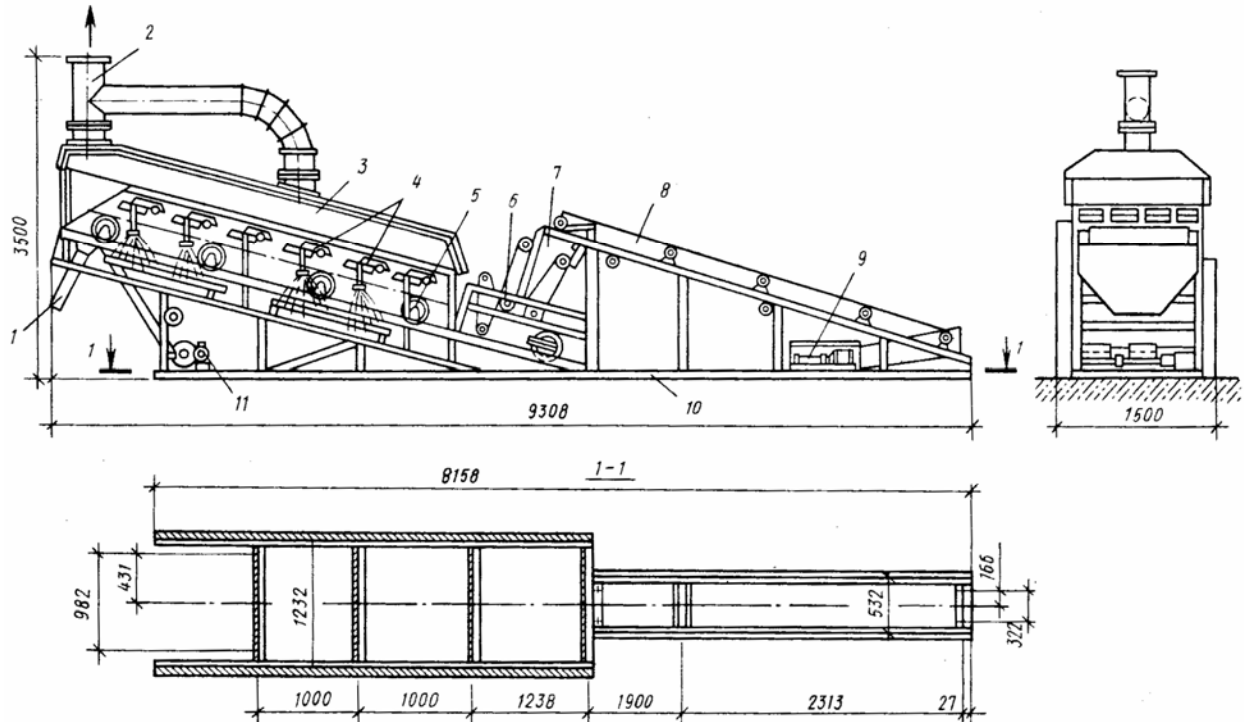


Рисунок 7.5 Дегельмінтизатор типу КДГМ:

1 - лоток скиду відпрацьованого осаду; 2 - вентиляторна система; 3 - зонт; 4 - газові горілки; 5 - стрічковий транспортер; 6 - регулювальні вали; 7 - бункер приймач; 8 - транспортер; 9,11 - електродвигуни; 10 - металева рама.

Для здійснення процесу у виробничих умовах запропонована установка, схема якої зображена на рис. 7.6.

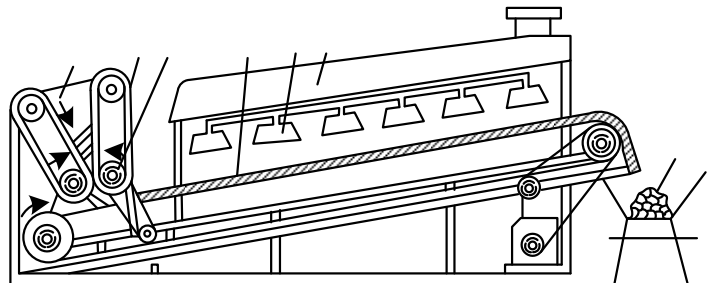


Рис. 7.6 Схема установки по дегельмінтизації осадів: 1 – приймальний бункер; 2 – рухливі стінки бункера; 3 – регулювальні вали; 4 – металева стрічка конвеєра; 5 – газовий пальник інфрачервоного випромінювання; 6 – витяжний парасоль; 7 – конвеєр для обробленого осаду

Осад, зневоднений на вакуум-фільтрах або центрифугах, стрічковим конвеєром подається в приймальний бункер, з якого надходить на металевий конвеєр, де з допомогою газових пальників інфрачервоного випромінювання прогрівається до заданої температури. Температура прогрівання осаду регулюється швидкістю руху стрічки, числом працюючих пальників і товщиною шару на стрічці. Для створення шару необхідної товщини бункер має рухливі стінки з листової гуми і регулювальні вали. Основним визначальним параметром у цьому процесі є час прогрівання осаду до заданої температури. На тривалість процесу дегельмінтизації великий вплив роблять товщина шару осаду, його питома теплоємність, потужність і висота установки джерел випромінювання, глибина проникнення променів та інші фактори.

Осад, зневоднений на центрифугах, більш ефективно прогрівався за допомогою газових пальників інфрачервоного випромінювання, ніж осад, зневоднений на вакуум-фільтрі. Це пояснюється тим, що перший має меншу вологість і питому теплоємність, а також більш пухку, розсипчасту структуру. При відстані випромінюючої поверхні пальників від осаду 100-150 мм і товщині його шару 10-15 мм осад, зневоднений на вакуум-фільтрі, прогрівався до 60 °С за 4-4,5 хв. Збільшення товщини шару до 20 мм подовжувало час прогрівання до 7-7,2 хв. Осад, зневоднений на центрифугі при товщині шару 10-15 мм, прогрівався до 60 °С за 2-3,5 хв. Зростання товщини шару до 20-30 мм вимагає збільшення часу прогрівання лише до 4,8-5,6 хв.

Теоретична кількість тепла, максимально потрібна на дегельмінтизацію 1 м³ осаду, зневодненого до 80% вологості, становить:

$$1000 \cdot 3140(60 - 10) + \frac{10}{100} 800 \cdot 5,03 \cdot 10^6 = 560 \text{ МДж},$$

де 1000 – маса осаду, кг; 3140 – середня питома теплоємність осаду, Дж/(кг·К); 10 – випаровування води з осаду, %; $5,03 \cdot 10^6$ – кількість тепла, необхідна на випаровування, Дж/кг.

При використанні газових пальників витрата зрідженої пропанбутанової суміші з теплою згоряння 109 МДж/м³ при ККД установки 0,7 становить $560/(109 \cdot 0,7) = 7,3$ м³ на 1 м³ зневодненого осаду при нормальних умовах. При використанні природного газу його максимальна витрата при нормальних умовах складає $133500/(8000 \cdot 0,7) = 24$ м³/м³. Технічна характеристика камери дегельмінтизації наведена в таблиці 7.2.

Камери дегельмінтизації встановлені на очисних станціях серійно випускаються і мають: автоматичне дистанційне розпалювання пальників, контроль запалювання кожного пальника, відключення подачі газу до пальників при згасанні полум'я і відключення витяжного вентилятора.

Таблиця 7.2 – Технічна характеристика камери дегельмінтизації

Продуктивність по зневодненому осаду, м ³ /год	0,4-06
Довжина, мм	
транспортера з металевою стрічкою	5480
стрічки (по осях барабанів)	4500
Швидкість руху стрічки металевого транспортера, м/хв	0,7
Товщина шару кеку, мм	10-25
Ширина, мм:	
стрічки	1200
камери	1600
Тиск газу в мережі, МПа (мм вод. ст.)	0,007-0,024 (70-250)
Витрата газу на один пальник, м ³ /год	0,56-1,06
Число пальників ГК-27-У1	24
Висота установки пальників над шаром кеку, мм	100-200
Вид палива	Природний газ

7.4. Біотермічна обробка (компостування) осадів стічних вод

Компостування – це біотермічний процес розкладання органічних речовин осадів, здійснюваний під дією аеробних мікроорганізмів з метою знезараження, стабілізації і підготовки осадів до утилізації як добрива. Аеробний процес розкладання органічної речовини характеризується рівняннями типу; $C_{10}H_{19}O_3N + 12,5O_2 \rightarrow 10CO_2 + 8H_2O + NH_3$, $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$ і супроводжується виділенням тепла.

Найбільш простий метод – польове компостування – давно використовується в сільському господарстві для отримання компосту з торфофекальних сумішей.

Дослідження, проведені у США, Франції, Фінляндії і Японії показали, що компостування дозволяє істотно скоротити паливно-енергетичні витрати на знезараження осадів і поліпшити їх санітарно-гігієнічні показники (внаслідок загибелі хвороботворних мікроорганізмів, яєць гельмінтів і личинок мух). У процесі життєдіяльності аеробних мікроорганізмів відбувається споживання і витрата органічних речовин, тому біотермічний процес найбільш ефективний при компостуванні сирих незброджених осадів. Однак він застосовується в комбінації з анаеробним збродженням осадів в мезофільних умовах. У зв'язку з тим, що процес ефективний лише при певній вологості осадів (не перевищує 60%), компостування доцільно піддавати осаді механічно зневоднені або підсушені на мулових майданчиках.

Для створення пористої структури осаду необхідної вологості і оптимального співвідношення вуглецю та азоту, які забезпечують проведення біотермічного процесу в аеробних умовах, компостування

осадів слід здійснювати в суміші з наповнювачами. Найбільш сприятливе співвідношення вуглецю і азоту 20-30:1.

У США, Франції, ФРН, Швеції, Фінляндії, Японії та інших країнах зневоднені осади стічних вод вологістю 65 - 80% компостуються спільно з розмолотої деревною корою, листям, соломою, тирсою, торфом, сухим осадом і іншими добавками, які використовуються в якості розпушуючого пороутворюючого, вуглецевовмісного і вологопоглинаючого компоненту.

У процесі компостування осадів протікає біотермічний процес, що супроводжується споживанням органічних речовин і підвищенням температури до 50-80 °С, що призводить до знезараження і скорочення маси осадів. Кількість органічних речовин при цьому скорочується на 25-40%, а іноді і більше в залежності від складу осаду, методу, тривалості та умов компостування.

При зберіганні компосту процес розпаду органічних речовин сповільнюється, але продовжується. 1 кг органічної речовини при розпаді виділяє в середньому 21 МДж тепла. З урахуванням тепловтрат і нагрівання матеріалу на випаровування 1 кг вологи потрібно затратити в середньому 4 МДж тепла. Таким чином, при розкладанні 1 кг органічної речовини з осаду видалається 5 кг вологи; крім того, частина вологи з осаду видалається за рахунок природного випаровування. Тривалість компостування і загальна кількість вологи, що видалається з осаду залежать від застосовуваного методу компостування, кліматичних факторів, пори року, розмірів штабелів, кількості подаваного повітря, періодичності перелопачування і т.п. Чим вище температура навколишнього повітря, тим швидше та інтенсивніше йде процес. В умовах з теплим кліматом для інтенсифікації процесу може використовуватися сонячна енергія.

При компостуванні одним з вирішальних факторів є надходження до компостованої маси осаду кисню повітря. Стехіометрична потреба кисню повітря для здійснення процесу у відповідності з наведеними вище рівняннями в середньому становить 2 кг O_2 на 1 кг окисненої органічної речовини. Саме така кількість повітря потрібна для початку здійснення процесу у перші дні (3-6 діб) і досягнення температури знезараження. Надалі повітря потрібне не тільки для продовження процесу, але і для видалення з осаду вологи, тому його витрата збільшується. Витрата повітря залежить від вологості компостованої маси: чим вона вища, тим більше потрібно повітря. Однак збільшення подачі повітря веде до зменшення температури компостованої маси, а отже, до зниження швидкості процесу, тому подача повітря повинна регулюватися. При підготовці осадів до компостування слід прагнути до максимально можливого зневоднення.

Завдяки видаленню вологи з осаду в процесі компостування готовий компост отримують у вигляді сипучого матеріалу вологістю 40-50%.

Внаслідок зниження вологості і розпаду органічних речовин обсяг компосту зменшується, в результаті чого скорочуються транспортні витрати на його перевезення. Готовий компост не має запаху, не загниває і є хорошим добривом.

В останні роки розроблені і застосовуються різні методи компостування осадів. Найбільше застосування отримав метод компостування в штабелях, формованих на майданчиках з водонепроникним покриттям (асфальтованих або бетонних), що розраховуються на навантаження застосовуваних механізмів та маси штабелів.

Штабелі різної висоти формуються з використанням засобів механізації (наприклад, козлового крана, бульдозера-екскаватора): висотою 1-3 м – при природній аерації, висотою до 5 м – при примусовій аерації. Форма штабеля трапецієвидна з шириною поверху від 2 до 30 м, довжина не обмежується. При застосуванні аерованих штабелів необхідно передбачати укладку в основу штабеля перфорованих труб діаметром 100-200 мм з розміром отворів 8-10 мм. Витрата повітря приймається 10-25 м³/год на 1 т органічної речовини суміші. Повітря подається повітродувною установкою або відсмоктується вентилятором. По контуру майданчика встановлюються лотки для збору поверхневого стоку.

Технологічний режим передбачає укриття компостованої маси безпечним в санітарному відношенні матеріалом, наприклад, готовим компостом шаром в 20 см і більше. Покриття служить для запобігання розмноження мух і гризунів і, крім того, забезпечує теплоізоляцію маси, що знешкоджується.

Процес ферментації розділяється на дві фази. Перша фаза протікає протягом одного-трьох тижнів, супроводжується інтенсивним розвитком і розмноженням мікроорганізмів, при цьому температура підвищується до 50-80 °С. Друга фаза – фаза дозрівання компосту – більш тривала (від двох тижнів до 3-6 міс), супроводжується розвитком найпростіших і членистоногих організмів і зниженням температури до 40 °С і нижче. Для рівномірного прогрівання і забезпечення мікроорганізмів повітрям в період компостування необхідно 2-3-разове перелопачування компостованої маси.

У деяких випадках в якості наповнювача при формуванні штабелів може використовуватися готовий компост.

Кількість сухого компосту, необхідного на рециркуляцію, може бути визначена з рівняння

$$(AC_2 + BC_1) : (A + B) = C_3, \quad (7.9)$$

де А – кількість компосту, необхідного на рециркуляцію, т; В – кількість компостованого осаду, т; C₁, C₂ і C₃ – концентрація сухої

речовини відповідно в зневодненому осаді, рециркулюючому компості і компостованій суміші, %.

При вологості механічно зневодненого осаду 75%, вологості рециркулюючого компосту 40% і вологості компостованої суміші 60% необхідна кількість компосту для рециркуляції складе

$$(60A + 25 \cdot 1) : (A + 1) = 40,$$

звідки $A = 0,75$ т на 1 т механічно зневодненого осаду. У США застосовується так званий Белтсвільський метод компостування осадів стічних вод в штабелях (рис. 7.7). Суть його полягає в тому, що на попередньо підготовлену основу з деревної тріски укладаються перфоровані пластмасові труби діаметром 10 см. Зверху вони закриваються 30-сантиметровим шаром трісок, стружки або непросіяного компосту і приєднуються до вентилятора або повітрорудки. На основу укладається штабель довжиною 16 м, шириною 7 м і висотою 2,5 м із суміші зневодненого осаду і наповнювача (подрібненого паперу, листя, шкарлупи арахісових горіхів, подрібнених автопокришок і т.п.). Для запобігання розповсюдження запаху і тепловтрат штабель закривається 30-сантиметровим шаром просіяного компосту. Період дозрівання компосту з аерацією повітрям становить 21 добу. Відсмоктування повітря проводиться періодично, внаслідок чого знижується можливість охолодження штабеля повітрям, що відсмоктується. Для відділення крапель вологи повітря відсмоктується через каплевідділювач.

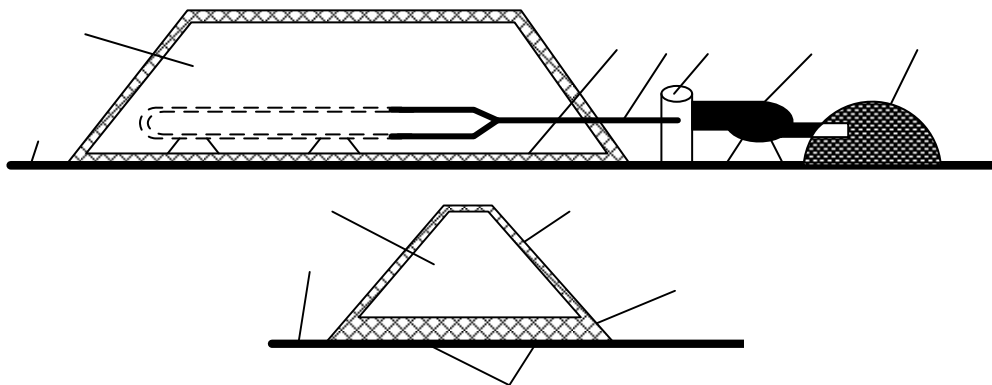


Рис. 7.7 – Компостування в аерованому штабелі: 1 – асфальтований майданчик; 2 – штабель; 3 – шар компосту; 4 – деревна тріска; 5 – перфоровані труби; 6 – каплевідділювач; 7 – відсмоктувальний вентилятор; 8 – просіяний компост

Потік повітря, що відсмоктується перед скиданням в атмосферу проходить шар просіяного компосту, де гази, що володіють запахом, адсорбуються. Даний метод здійснюється в містах Кемден (штат Нью-Джерсі), Віндзор (штат Онтаріо), Меррімек (штат Нью-Гемпшир), Стратфорд (штат Коннектикут) та ін. У США застосовується також метод компостування осадів валками. За цим методом зневоднений осад

змішується із сухим осадом за допомогою спеціальних машин (типу «Терекс», «Рото-шредер») і укладається в невисокі штабелі у вигляді довгих паралельних рядів. Цими ж машинами матеріал двічі в день перелопачується протягом перших п'яти днів і періодично протягом наступних днів. Тривалість компостування в залежності від температури повітря і пори року становить від 21 до 40 діб. Просіяний і упакований компост під назвою «Нітро-гумус» продається фермерам.

У Фінляндії на очисних спорудах м. Лаппеенранта компостують зневоднені із застосуванням флокулянтів осади і суміші з меленою корою в співвідношенні 1:1 за об'ємом. Компостування проводять в штабелях висотою 3 м і витримують протягом 3 міс. Штабелі перелопачують ковшовим навантажувачем 1 раз на три тижні.

На очисній станції м. Йоенсуу зневоднені із застосуванням флокулянтів осади вологістю 80% компостуються спільно з корою або торфом у співвідношенні 2:1 за об'ємом. Тривалість компостування 4-6 міс. За цей час 4-5 разів перелопачують компост. Температура компосту за перші два тижні підвищується до 50 °С, а в подальшому до 60 °С. Вологість готового компосту становить 40-50%.

В Японії застосовуються різноманітні апарати для компостування осадів. Фірмою «Санки Інженерінг» розроблена технологія компостування осадів стічних вод у суміші з компостом (рис. 7.8). Компостована маса вологістю 50-60% вкладається в штабелі заввишки 1-1,5 м і аерується теплим повітрям, що нагрівається в теплообміннику повітрям, що відходить зі штабеля. Для забезпечення нормальної ферментації кількість повітря, що подається складає 200 л/хв на 1 т компостованої маси. Протягом 2 діб температура маси підвищується до 70-80 °С, при цьому розкладаються жири, білкові і вуглеводні речовини і знижується рН. Тривалість даної стадії близько 10 діб. Потім температура поступово падає до 40 °С, розкладається гемміцелюлоза, лігнін і частина целюлози і рН піднімається до 7. Тривалість цієї стадії близько 20 діб. У результаті розкладання виділяються CO_2 , H_2O та NH_3 і утворюється гумус.

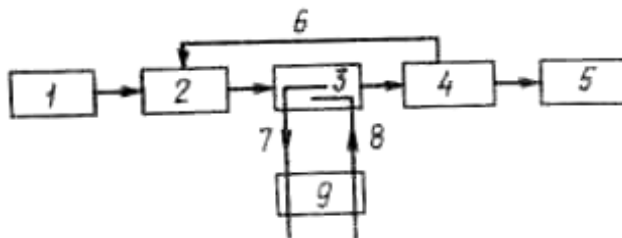


Рис. 7.8 Схема технологічного компостування осадів за методом фірми «Санки Інженерінг»: 1 – механічне зневоднення осаду; 2 – змішування осаду з сухим компостом; 3 – ферментація в штабелях; 4 – просіювання компосту; 5 – зберігання й упаковування готового компосту; 6 – подача просіяного компосту на рециркуляцію; 7 – відсмоктування повітря; 8 – подача повітря на ферментацію; 9 – теплообмінник

Показником ступеня розкладання органічної речовини і швидкості протікання біотермічного процесу може служити інтенсивність процесу нітрифікації.

У Франції розроблені і застосовуються різні методи компостування осадів стічних вод з використанням як простих машин для перемішування і штабелювання, так і більш складного обладнання - ферментаційних ангарів, барабанів, аерованих камер, конвеєрів та ін. При компостуванні застосовують різні добавки (тирса, солома, листя, бадилля, вугілля, кора), а також тверді побутові відходи.

На очисних спорудах м. Блуа зброжений в метантенках і потім зневоднений на центрифугах з поліелектролітів осад вологістю 75% компостується в суміші з тирсою. Співвідношення осаду і тирси 1:1 по сухій речовині або 1:3 за об'ємом. Штабелі формуються спеціальною машиною. На розрівняний шар тирси подається екскаватором осад. Машина перемішує осад з тирсою і формує штабель. Цією ж машиною проводяться перемішування і гомогенізація компостованої суміші. На рис. 7.9 показана схема машини в роботі. Машина виготовлена фірмою «Termois epurations» в м. Люсе. Продуктивність її 200 м³/год, що дозволяє обробити осади від станції аерації пропускною спроможністю до 25-30 тис. м³/добу при однозмінній роботі протягом п'яти днів на тиждень. Працює машина на електричному струмі, для чого оснащена двигуном змінного трифазного струму напругою 380 В, потужністю 37,5 кВт. Машина має барабан, що складається з двох шнеків, конвеєр з подвійним ланцюгом і гребінчастий викидач. Пересувається вона з невеликою швидкістю, формуючи штабель заввишки 1,5-2 м, шириною 4-5 м. Перемішування штабеля проводиться цією ж машиною шляхом формування нового штабеля. Періодичність перемішування в залежності від температури компостованої маси становить 2-5 разів на тиждень протягом трьох тижнів, потім бульдозером формуються штабелі висотою 2,5-3 м, де компост дозріває і зберігається до восьми тижнів. Готовий компост продається і використовується фермерами під овочеві культури та плодові дерева [2-6].

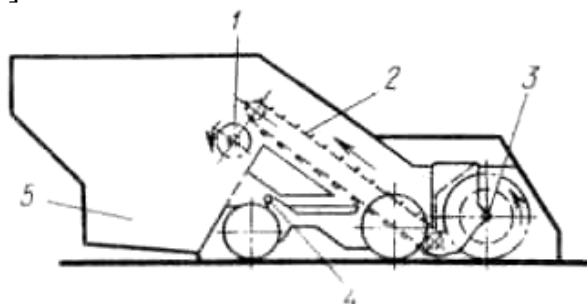


Рис. 7.9 Схема машини для компостування зневодненого осаду:
1 – гребінчастий викидач; 2 – конвеєр з подвійним ланцюгом; 3 – барабан з двома шнеками; 4 – електропривод; 5 – бункер

У Франції розроблені пристрої, що дозволяють механізувати процес компостування із дозуванням осаду і наповнювачів. У м. Сайсон на спорудах, що очищають стічні води міста та підприємств, для змішування осаду з наповнювачами та компостування застосовуються бункери зі шнековим вивантаженням, шнекові змішувачі і аеровані ємності із механічними мішалками. Фірмою «Софрані-Прат» розроблений метод камерного компостування, який може здійснюватися як в окремих аерованих ковையерах, так і в камерах, що встановлюються на колесах і пересуваються по закритому тунелю. Фірмою «Карел Фуше» компостування пропонується здійснювати в ферментаційних вежах з подачею компостованої суміші зверху і вивантаженням знизу. Компостована маса переміщується в результаті обертання подів зі скиданням маси з верхнього поду на розташований нижче. Аерація здійснюється як подачею повітря компресорами в нижню частину, так і за допомогою відсмоктування повітря з верхньої частини. Подібна установка експлуатується в м. Монпельєрі.

Ферментаційні вежі, розроблені фірмою «Трига», працюють у м. Дройє, де здійснюється спільне компостування осадів стічних вод і твердих побутових відходів (80 т/добу) і в м. Ройяк, де обробляється 4000 т/рік осаду в суміші з тирсою (2000 т/рік) та ін.

На очисних спорудах м. Рештатт (ФРН) механічно зневоднений осад вологістю 75-78% компостується спільно з деревною корою, розмолотої до розмірів 5-10 мм. Співвідношення вуглецю та азоту становить 25:1, а вологість суміші – 65%. Установка компостування складається з шести 10-поверхових веж довжиною 10 м, шириною 4 м і висотою 15 м. Основа кожного поверху складається з рухомих подів, що гідравлічно закриваються і відкриваються. При відкритті подів маса, що знаходиться на поверсі падає на розташовану нижче основу.

Маса завантажується зверху шарами по 1 м завтовшки, компост вивантажується знизу. Кожен третій день компостована маса скидається на розташований нижче поверх, таким чином, через кожні три дні відбувається перемішування і розпушування шару.

Кожен другий поверх провітрюється з передньої сторони. Провітрювання здійснюється і між поверхами, а саме: першим і другим, третім і четвертим, п'ятим і шостим, сьомим та восьмим, дев'ятим і десятим. Витяжка повітря на кожному другому поверсі здійснюється з задньої сторони і між поверхами: другим і третім, четвертим і п'ятим, шостим та сьомим, восьмим та дев'ятим.

Протягом двох тижнів температура підвищується до 70°C, в результаті чого досягається знезараження компостованої маси. Температурний режим постійно контролюється.

На ділянці змішування послідовно встановлені контейнери для зневодненого осаду, подрібненої кори і готового до вживання компосту, а

також скребковий конвеєр. З горизонтальної стрічки суміш похилим скребковим конвеєром подається в башту. При цьому суміш розпушується гумовим валиковим пристроєм. Контроль за процесом завантаження маси здійснюється з пульта управління за допомогою моніторів. На майданчику завантаження встановлена телекамера. Тривалість процесу 30 діб. Готовий компост використовується в сільському господарстві.

В ряді країн застосовується технологія розведення черв'яків на відходах, що отримала назву вермікомпостування. Вона заснована на використанні біологічної здатності черв'яків заковтувати і в процесі своєї життєдіяльності переробляти велику кількість органічних залишків з відходів. Важливим є також та обставина, що мікроорганізми, що розвиваються в компостах, сприяють переходу частини токсичних форм важких металів у малорухомі сполуки. Отриманий методом вермікультури компост має багатобічну позитивну дію на ґрунти. Для здійснення процесу компостування масу укладають в бурти висотою 0,4-0,5 м, які добре аеруються і періодично перелопачуються і зволожуються (вологість 65-75%). У масу вноситься 1-2 кг/м² черв'яків. У процесі їх життєдіяльності щільність заселення компостованої маси черв'яками досягає 30 тис. екземплярів на 1 м³. Органічне добриво, що отримується через 3-4 міс, по ряду показників перевершує компост, одержуваний традиційними методами. Крім того, дощові черв'яки можуть застосовуватися в якості високопротеїнової добавки в корм худобі та птиці. Однак для широкого використання черв'яків в якості кормових добавок необхідно вирішити питання очищення їх від субстрату, сушки, подрібнення і т. д.

Для скорочення вартості процесів компостування осадів велике значення має розробка і застосування спеціальних насосів для перекачування зневоднених осадів до майданчиків компостування, а також машин для закладки штабелів і змішування осадів з наповнювачами. Подібні насоси випускаються фірмами «Швінк», «Путцмайстер» (ФРН) та ін. У нашій країні Запорізьким конструкторсько-технологічним інститутом сільськогосподарського машинобудування виготовлено дослідну партію навантажувачів безперервної дії (ПНД-250), які проходять випробування з укладання в штабелі, перемішування і гомогенізації компостованих осадів.

7.5. Біотермічна обробка (компостування) суміші осадів стічних вод і твердих побутових відходів

Спільне біотермічне знешкодження осадів стічних вод і твердих відходів дозволяє прискорити процес розкладання органічної речовини шляхом взаємозбагачення компонентами, що сприяють інтенсифікації процесу, зокрема, поліпшенню співвідношення вуглецю та азоту, підвищенню пористості осадів стічних вод і відносному зменшенню

інертних включень в суміші (скла, піску і т. п.). Основними компонентами твердих побутових відходів є папір і харчові відходи, які грають головну роль в процесі біотермічного розкладання. Збільшення вмісту в твердих побутових відходах паперу веде до скорочення в них органічного азоту. Змішування ж твердих побутових відходів з осадами стічних вод сприяє збагаченню їх азотом та поліпшенню якості готового продукту. Спільна переробка осадів стічних вод і твердих побутових відходів дозволяє скоротити необхідні площі для їх зберігання і число обслуговуючого персоналу. При цьому також скорочуються енергетичні витрати, так як знезараження осадів досягається в процесі компостування без застосування яких-небудь спеціальних пристроїв (камер дегельмінтизації, сушарок і т. п.). Одержуваний компост використовується як добриво, або біологічне паливо. Вологість твердих побутових відходів коливається в межах 25-60%, зольність – 28-41% загальної маси і залежить від складу сміття, пори року, умов збору і зберігання. Для здійснення процесу компостування в оптимальних умовах вологість суміші осадів і твердих відходів повинна бути в межах 50-60% і співвідношення осаду до твердим відходів за масою – від 1:1 до 1:3. Наприклад, на 1 т осаду вологістю 80% потрібно 2 т твердих побутових відходів вологістю 40%.

Тверді побутові відходи перед компостуванням, як правило, сортуються і дробляться, з них вилучаються чорні та кольорові метали. Процес сортування може також проводитися і після компостування.

В даний час в різних країнах працює понад 100 сміттєпереробних заводів, на яких компостуються суміші твердих відходів і осадів стічних вод. Компостування здійснюється як із застосуванням різних механізмів (ферментатор, біобарабан і т. п.), так і в штабелях з механізацією робіт по складуванню, перемішуванню і навантаженні компосту, із застосуванням пристроїв для аерації, подрібнення, сортування і т. п. При компостуванні в штабелях використовуються суміші дроблених або недроблених відходів з сирими і збродженими осадами як не зневодненні, так і попередньо зневоднені. Осади додаються або з метою зволоження, або з метою збагачення твердих побутових відходів відсутніми компонентами, або для того і іншого.

Фірмою ОТВ (Франція) розроблений і отримав практичне застосування процес компостування, званий «Сілода». Полягає він у тому, що компостування суміші твердих побутових відходів та осадів ведуть в штабелях, що розташовані в ємкостях глибиною 2 м і шириною по 4 м на чотирьох лініях з тривалістю перебування по 2 доби на кожній лінії. Попередньо тверді побутові відходи сортуються і дробляться. Перемішування, гомогенізація і передача компосту здійснюються за допомогою колеса з лопатями діаметром 4 м і шириною 4 м, що рухається на візку по рейках над лініями і переміщується з лінії на лінію.

Компостована суміш з лінії на лінію передається двовалковим шнеком, змонтованим на тому ж візку.

Такий же процес застосовують для компостування зневодненого осаду в суміші з тирсою і рециркуляцією 1/4 частини компосту. Тривалість процесу складає 14 діб. Лінії розташовуються під навісом або в приміщенні, в залежності від кліматичних умов.

Компостування суміші твердих побутових відходів і осадів стічних вод у обертових горизонтальних ферментаційних барабанах в аеробних умовах за методом «Дано» (Данія) дозволяє скоротити процес до 2-4 діб.

Фірмою «Сосеа» (Франція) даний процес вдосконалений. Тверді побутові відходи завантажуються в барабан без попереднього дроблення і сортування. Туди ж додаються осади стічних вод. Процес розділяється на три стадії: перемішування в барабані з аерацією повітрям протягом 2-4 діб, сортування компосту і дозування на повітрі в штабелях. При обробці в ферментаційному барабані відбувається механічний і біологічний вплив на відходи. При безперервному обертанні барабана частинки твердих побутових відходів сортуються по крупності і внаслідок тертя перетираються для зменшення їх об'єму.

Під час запуску в барабан подається невелика кількість готового компосту, який, відкладаючись на внутрішній поверхні, виконує роль термічної і антиабразивної ізоляції, з одного боку, і біологічно активного середовища, з іншого.

На ряді підприємств в Австрії, ФРН та інших країнах біобарабани використовуються для гомогенізації і часткового знешкодження компостованої суміші з наступним дозріванням компосту в штабелях.

За методами «Джерсі» (Англія), «Каррель Фуше» (Франція), «Фрезер Івесон» (США) тверді побутові відходи вологістю 30-45% із співвідношенням $C:N = 20 \div 50$ після проходження через автоматичну стандартну лінію прийому, що складається з бункера, магнітного сепаратора, гуркоти і дробарки, змішуються в двовалковому змішувачі з зневодненим осадом стічних вод вологістю 60% і більше з співвідношенням $C:N = 6 \div 20$. Вологість перероблюваної суміші повинна становити 50-60%.

Суміш подається на верхній поверх (ярус) 6-поверхової вежі-ферментатора з жалюзійними перекриттями. Кожну добу піддони повертаються навколо своєї осі, а компостованої маса пересипається на лежачий нижче поверх. Через 1,5-2 доби після завантаження на другому поверсі (рахуючи зверху) температура компостованої маси досягає 65-70°C. Зневоднений осад стічних вод для прискорення процесу компостування може подаватися на другий зверху поверх башти. Дозрілий компост вивантажується з нижньої частини башти і може складуватися в штабелі для дозрівання або використовуватися в якості біопалива в парниках.

У ФРН розроблений метод спільного знешкодження твердих побутових відходів і осадів стічних вод шляхом пресування суміші і сушки в брикетах на повітрі. З твердих побутових відходів попередньо електромагнітними барабанами витягується метал, потім за допомогою гуркоту видаляються великі фракції. Після цього тверді побутові відходи піддаються дробленню в сміттєдробарці, а потім в розчинозмішувачі змішуються з механічно зневодненим осадом стічних вод. Суміш надходить на гідравлічний прес, де під тиском $(20 \div 30) \cdot 10^5$ Па пресується в брикети. Капілярна структура брикетів сприяє вільному доступу повітря, тому при складуванні в штабелі протягом 15-30 діб розвивається біотермічний процес. У період попиту брикети розмелюють і розмелений матеріал класифікується і розділяється в залежності від розміру частинок повітряної сепарацією або просіюванням.

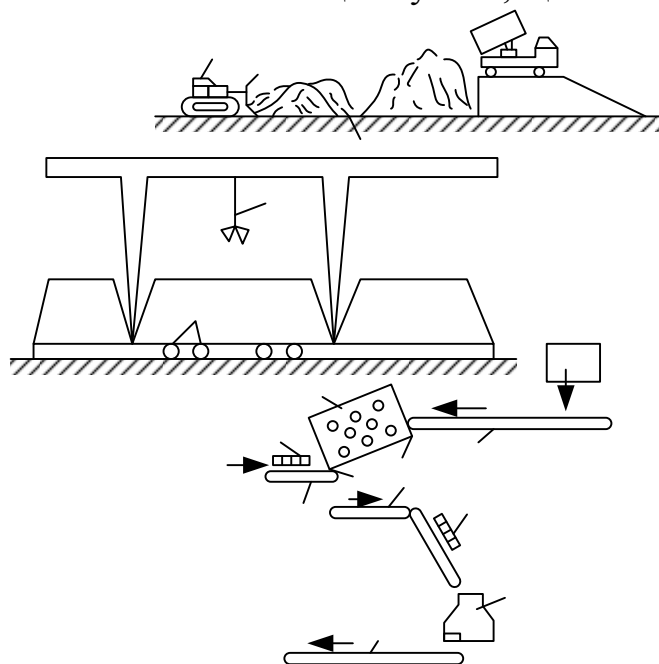
Спільне компостування осадів стічних вод і твердих побутових відходів дозволяє ефективно вирішувати питання їх знешкодження та утилізації. Для здійснення процесу розроблена компактна схема секційних майданчиків. Одна секція майданчики обслуговує місто з населенням в 50-70 тис. жителів і має розмір ділянки в плані близько 1,5 га.

На секційний майданчик для знешкодження та переробки приймають тверді побутові відходи щільністю $0,15-0,30$ т/м³ вологістю 35-65%, та містять не менше 40% органічної речовини, і осаді стічних вод щільністю близько 1 т/м³ вологістю 70-85% і містять не менше 50% органічної речовини. Потужність однієї секції залежить від продуктивності окремих елементів устаткування і прийнятого співвідношення твердих побутових відходів та осаду (2:1 по масі). Виходячи з цих умов, потужність однієї секції за прийнятими відходам складає: 12-14 тис. т/рік твердих побутових відходів і 6-7 тис. т/рік осадів стічних вод.

Потужність секції за компостом складає 60-75% маси відходів, що надійшли на переробку. Вихід компосту зменшується при зниженні вологості і частковому розкладанні органічної речовини суміші, а також при виділенні брухту чорних металів і відсіві великих неутилізованих відходів.

Згідно з технологічною схемою (рис. 7.10), тверді побутові відходи і зневоднені осаді, що надходять на майданчик розвантажуються з пандуса на бетонну площадку, де бульдозер і козловий кран здійснюють змішування зневоднених осадів стічних вод і твердих побутових відходів. Змішаний таким чином матеріал зсувається в зону дії козлового крана з грейферним обладнанням, за допомогою якого суміш забирається і укладається в штабелі на спеціально підготовлену бетонну основу. Ця основа практично водонепроникна, що сприяє охороні підземних джерел. В основі штабелів прокладаються труби аераційної системи, а по краях штабеля – труби дренажної системи.

Висота штабеля не повинна перевищувати 5 м, ширина по нижній частині 28 м і довжина 40 м. Кут нахилу штабеля має бути не більше 55° . Технологічний режим даного методу переробки відходів передбачає накриття компостованої маси безпечним в санітарно-епідеміологічному відношенні матеріалом, наприклад, компостним шаром в 0,15-0,25 м. Застосовуваний ізолюючий матеріал лімітує зазначений кут нахилу. Покриття служить для запобігання розмноження мух і гризунів, і крім того, забезпечує волого- і теплоізоляцію суміші, що знешкоджується.



3

Рис. 7.10 Технологічна схема споруд по спільному знешкодженню і переробці твердих побутових відходів та зневоднених осадів стічних вод: 1 – пандус; 2 – бетонований майданчик; 3 – бульдозер; 4 – козловий кран з грейфером; 5 – трубопроводи системи аерації; 6 – штабелі; 7 – живильник гуркоту; 8 – барабанний гуркіт; 9 – магнітний сепаратор; 10 – стрічкові конвеєри; 11 – дробарка; 12 – подача на склад готової продукції

4

В процесі переробки для забезпечення рівномірного знешкодження всіх шарів компостованих відходів штабелі перемішують. Знешкоджена маса грейферним ковшем козлового крана переноситься на місце формування другого штабеля, а на звільнений майданчик укладається суміш осадів і відходів, що надходить на переробку. Перемішування штабеля проводиться після закінчення 1 місяця після закладки, в залежності від місцевих умов у строки перемішування можуть вноситися відповідні корективи.

6

По закінченні знешкодження та переробки твердих побутових відходів і осадів стічних вод суміш козловим краном подається на живильник барабанного гуркоту, після якого встановлений магнітний сепаратор для виокремлення брухту чорних металів. Потім компост

8
9

10

пропускається через дробарку. Дрібна фракція, що пройшла через сито гуркоту, надходить на склад готової продукції, а схід з гуркоту вивозиться у відвал.

Компостування суміші недроблених твердих побутових відходів та зневоднених осадів стічних вод може проводитися і в штабелях меншої висоти. У цьому випадку вони можуть формуватися бульдозером без застосування козлового крана. Штабелі заввишки 1,5-3 м можуть бути неаерованими. Перемішування неаерованих штабелів проводиться 1 раз в три-п'ять тижнів (табл. 7.3).

Таблиця 7.3 Визначення термінів перемішування компостованої маси

Показники	Значення показників при тривалості компостування, тиждень		
	перший	другий	третій
Вміст, % об'єму			
CO ₂	2-5	6-8	10-12
O ₂	12-18	2-8	0-1
Температура, °C			
мінімальна	25-45	40-45	35-40
максимальна	55-75	60-75	50-55

Примітка: При регулюванні вмісту CO₂ і O₂ на третьому тижні необхідно проводити перемішування.

У аерованих штабелях кількість кисню не повинен бути нижче 7-12% проби газоповітряного середовища в компостованій масі. Витрата повітря в залежності від висоти штабеля і фізико-механічних властивостей компостованої суміші становить 0,4-0,9 м³ на 1 м штабеля за 1 год при швидкості руху повітря 0,2-0,4 мм/с. Аерація проводиться через 3-5 діб після закладки штабеля або закінчення перелопачування протягом 3-4 год на добу. Тривалість компостування в штабелях становить від 1,5-2 до 3-6 міс, залежно від кліматичної зони та пори року.

Спостереження за умовами знезараження суміші в штабелях показали, що незважаючи на підвищений вміст осаду, процес термогенеза розвивається інтенсивно при співвідношенні компосту та осаду 2:1. У весняно-літній період штабелі прогриваються до температури вище 50 °C через 12-15 діб після закладки. Через два тижні після перелопачування відбувається повторний прогрів штабелів до 50-60 °C. Прогрів маси осаду до температури знезараження в осінній період відбувається за 26-34 доби. Загальна тривалість знешкодження суміші в штабелях складає в середньому 2 місяці на рік. Характеристика компосту, одержуваного з суміші твердих побутових відходів і осадів стічних вод, наведена в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 Характеристика компосту з суміші ТПВ і осадів стічних вод

Вологість, %	Не більше 60
рН сольової витяжки:	
після біобарабана	Не менше 6
після витримки 1 місяць	Те ж, 7
Вміст, % сухої речовини:	
органічних речовин	Не менше 40
азоту загального	Те ж, 0,7
фосфору загального	> 0,5
калію загального	> 0,4
Відношення C:N	Не більше 30
Розмір часток компосту, мм	Те ж, 25
Вміст часток скла розміром 3-5 мм, % по масі	> 1,5
Вміст баластних включень (пластмаси, каменів, гуми, металу), % по масі	> 3,4
Наявність:	
яєць гельмінтів	Відсутні
личинок мух	>

У компості з твердих побутових відходів і осадів стічних вод є біологічно активні речовини – ауксин, гетероауксин, ряд вітамінів, а також гумінові сполуки, вміст яких в залежності від технології переробки коливається від 3 до 20%.

Поряд з готовим компостом в процесі переробки суміші твердих побутових відходів і осадів стічних вод можна отримувати біопаливо, тобто недозрілий компост. Кількість тепла, що виділяється біопаливом, становить 1000-1600 Дж/кг, використання його в теплицях і парниках дозволяє підвищувати температуру захищеного ґрунту за рахунок біологічного обігріву до 50 °С.

7.6 Термічне сушіння осадів

Термічне сушіння використовується для знезаражування і зниження маси і об'єму осадів стічних вод, попередньо зневоднених на вакуум-фільтрах, фільтр-пресах або центрифугах. Це дає можливість ефективно видаляти осади з території очисних станцій і утилізувати їх у народному господарстві.

Осад після термічного сушіння представляє собою незагниваючий, вільний від гельмінтів і патогенних мікроорганізмів сипучий матеріал вологістю 20-50%. Висушені осади на відміну від вихідних не мають адгезії до металів та інших матеріалів і не злипаються, в результаті чого, значно полегшується їхнє транспортування і утилізація.

При видаленні з осадів частини вологи механічним способом скорочується маса матеріалу, яка підлягає сушінню, завдяки чому зменшується потреба у виробничих площах сушильних цехів, витрати

палива і т.д. Однак зневоднені осади, як правило, являють собою адгезійно пастоподібні матеріали, тому їх сушіння пов'язане з рядом технічних труднощів, викликаних складністю подачі матеріалу в сушарку, налипанням його на металеві поверхні сушарки і джерела, злипливістю часток між собою в процесі сушіння.

Термічне сушіння осадів проводиться на сушильних установках, що складаються із сушильного апарата (сушарки) і допоміжного устаткування, до якого відносяться, підігрівники-теплообмінники, циклони, скрубери, продувне обладнання, а також конвеєри і бункери.

Серед способів сушіння переважає конвективний спосіб, при якому необхідна для випаровування тепла енергія безпосередньо передається осаді теплоносієм – сушильним агентом. У якості сушильного агента можуть використовуватися топкові гази, перегріта пара або гаряче повітря. У практиці термічного сушіння осадів стічних вод найбільше поширення одержав спосіб сушіння топковими газами.

Застосування топкових газів дозволяє проводити процес сушіння осадів при високих температурах (близько 500–800°C); зі збільшенням температури сушильного агента скорочуються габарити сушильних установок, а також витрата енергії на транспортування вихідних газів. Незалежно від виду застосовуваного сушильного агента всі сушарки конвективного типу поділяються на дві групи:

- 1) у яких при продувці сушильного агента через шар матеріалу частки останнього залишаються нерухливими;
- 2) у яких частки матеріалу переміщуються і перемішуються потоком сушильного агента.

У практиці сушіння зневоднених осадів стічних вод знайшли застосування сушарки різних типів як першої, так і другої групи.

Основними елементами сушарки (рис. 7.11) є обертовий барабан, завантажувальна камера, з'єднана з топкою, і вивантажувальна камера. Частота обертання барабану $1,5\text{--}8\text{ хв}^{-1}$.

Сушильний барабан встановлюється похило (максимальний кут нахилу 3–4°), що забезпечує рух матеріалу уздовж барабана під впливом сили вільного падіння від його піднятого (завантажувального) кінця до більш низького (вивантажувального). Переміщенню матеріалу також сприяє супутний рух газів.

Для рівномірного розподілу матеріалу по перетину барабана всередині сушарки встановлюються різного типу насадки (гвинтова, лопатева, секторна), а для рівномірного сушіння – пережими. Для здрібнювання, перемішування і запобігання налипанню осаді в сушарці додатково застосовуються ланцюги, що вільно підвішуються до внутрішньої поверхні барабана. Установка ланцюгів дозволяє усунути перешкоди руху осаді на початку сушіння, інтенсифікувати процес сушіння і позбавити необхідності використання в технологічній схемі

вузол подрібнення сухого осаду. Розрахункове навантаження на 1 м^3 барабанної сушарки становить 10 кг вологи на 1 год.

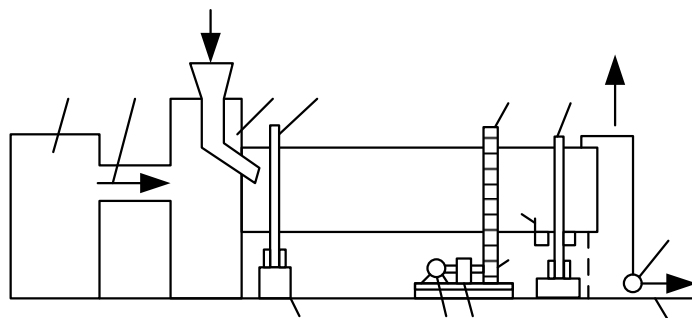


Рис. 7.11 – Схема барабанної сушарки:

1 - топка, 2 - топкові гази, 3 - подача кеку, 4 - завантажувальна камера, 5 - бандаж, 6 - барабан; 7-опорні ролики, 8 - електродвигун; 9 - редуктор; 10 - провідна шестерня; 11 - напірні ролики; 12 - зубчастий вінець, 13 - відпрацьовані гази; 14 - розвантажувальна камера; 15 - шлюзовий затвор; 16 - випуск сухого осаду

Високоєфективними сушильними апаратами є сушарки киплячого шару з механічним перемішуванням, сушарки віброкиплячого і фонтануючого шару, комбіновані та ін.

Принципова схема циліндроконічної сушарки, що працює в режимі фонтанування, показана на рис. 9.12.

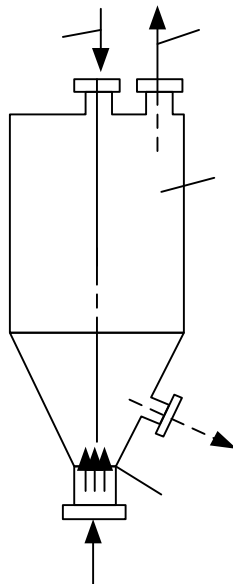


Рис. 7.12 – Схема циліндроконічної сушарки з фонтануючим шаром:
1 - подача осаду; 2-відвід газів у циклон, 3 - камера, 4 - випуск сухого осаду, 5 - грати; 6 - подача сушильного агента

Сушильний агент, що подається в камеру під грати, проходить нагору, переважно по осі камери, підхоплює частки осаду, що подається в простір над гратами, захоплює їх за собою і фонтаном відкидає на

периферію. По бічних поверхнях конуса частки сповзають униз до ґрат, де знову підхоплюються потоком сушильного агента. Циркулюючи по сушильній камері, осад висушується. Висушений матеріал виводиться з конічної частини апарата через тічку. Регулюючи рівень вивантаження готового продукту, можна змінити тривалість обробки осаду.

Подібні установки використовуються на деяких закордонних очисних станціях. Недоліками їх є нестійкість гідродинамічного режиму, складність подачі осаду в сушарки й розподіл його в зоні «киплячого» шару. У Франції, на станції аерації м. Нансі зброжений у метантенках осад зневоднюється на стрічкових фільтр-пресах і піддається термічному сушінню в парових сушарках. Пара високого тиску виходить у печі, де спалюється біогаз від метантенків. Встановлено два шаблі сушарок. Після сушарок першого шабля вологість осаду знижується до 55%, у сушарках другого шабля відбувається досушка осаду до 10%-ної вологості. Висушений осад може спалюватися з одержанням теплоти або використовуватися як добриво.

На рис. 7.13 наведена принципова схема сушарки. Парові сушарки із зовнішнім і внутрішнім обігрівом компактні й економічні, але вимагають одержання проміжного теплоносія - пари, а отже, застосування для цього спеціальних печей.

За рубежом, головним чином у США, одержали поширення пневматичні сушарки (труби-сушарки). Пневматична сушарка для механічно зневоднених осадів стічних вод являє собою трубу довжиною до 20 м, по якій знизу нагору рухається суміш топкових газів і зважених у їхньому потоці часток осаду. При проходженні по трубі осад висушується до заданого ступеня вологості. Готовий продукт відокремлюється від газів, що відходять, у спеціальному сепараторі.

Тривалість сушіння осаду в пневмосушарці становить усього кілька секунд, тому таке сушіння одержало назву «миттєвого». Процес протікає безупинно. Для більшості закордонних пневмосушарок характерне використання комбінованої схеми, що передбачає підмішування сухого матеріалу (ретура) до вихідного, здрібнювання й перемішування отриманої суміші при одночасній продувці її сушильним агентом. Підмішування сухого осаду до вологого різко змінює властивості осаду: з липкого й пастоподібного він перетворюється в сипучий матеріал, який не злипається і не комкується в процесі сушіння. Кількість ретура повинно бути досить великим, тому що зазначені зміни властивостей осаду відбуваються при зниженні його вологості до 50% і менше. При одночасному сушінні й здрібнюванні осаду збільшується площа поверхні матеріалу, що інтенсивно приймають участь у процесі тепло- і масообміну, внаслідок чого робота сушарки стає ефективнішою.

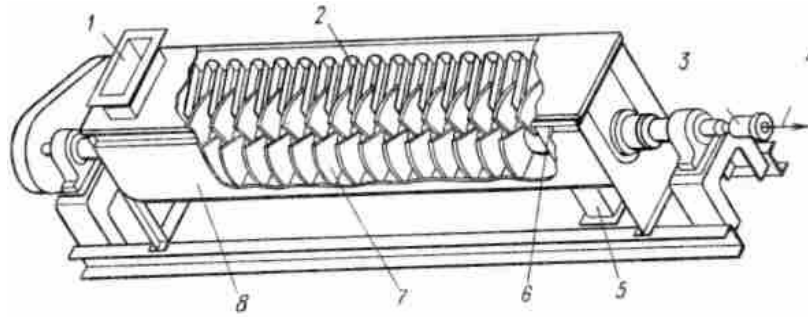


Рис. 7.13 Схема сушарки: 1 - подача осаду; 2 - підігрівники; 3 - надходження пари; 4 - вихід пари, що відробило; 5 - висушений осад; 6 - регулятор обертання; 7 - ротор з лопатами; 8 - кожух сушарки.

Принципова схема комбінованої установки для сушіння із одночасним здрібнюванням осаду, що випускає фірма «Раймонд» (США), наведена на рис. 7.14. Установка складається із двох основних апаратів: сушильного млина 1, де відбувається здрібнювання, перемішування й підсушування осаду, і розташованої на ній вертикальної труби-сушарки 2, де осад остаточно досушується. Осад у сушильний млин подається за допомогою шнекового живильника-змішувача 3, куди одночасно подається підлягаючий сушінню матеріал - механічно зневоднений осад і ретур. У живильнику-змішувачі відбувається перерозподіл вологи між вологим і сухим осадом шляхом контактного масообміну.

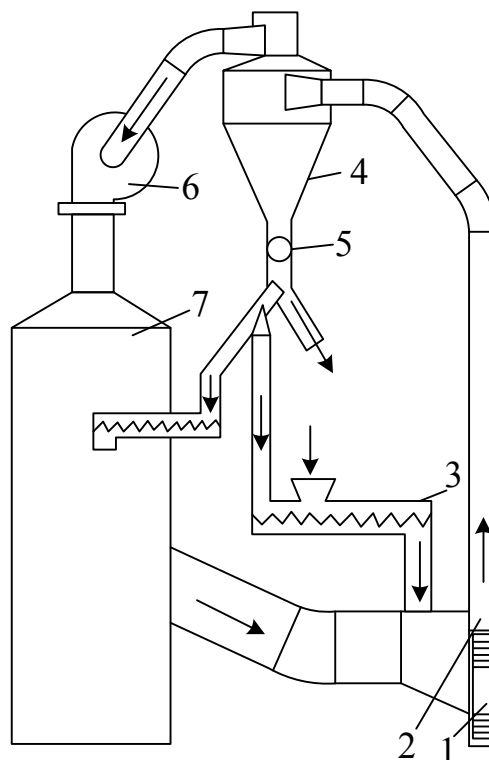


Рис. 7.14 Схема комбінованої пневмосушарки фірми «Раймонд».

Готовий продукт 5-10%-ної вологості збирається і відокремлюється від газів, що відходять, у циклоні 4. Із циклона сухий осад через

роздавальний вузол 5 подається в живильник-змішувач, а також споживачеві або на спалювання в піч 7, що служить для утворення сушильного агента - топкових газів.

На очисних спорудах м. Шауляя Литви для сушіння осадів використовується агрегат вітамінного борошна типу АВМ-0.65Ж. Такі апарати серійно випускаються й зручні в монтажі і експлуатації. Технологічна схема сушіння осадів в агрегаті АВМ-0.65Ж наведена на рис. 7.15.

Збезводнений на центрифугах осад вологістю 70–80% стрічковим конвеєром подається через розбризкувач в сушарку. Туди ж надходять топкові гази, що утворюються в камері згоряння. Здрібнені шматки осаду попадають у центральну трубу підйомно-лопатевої системи триходового сушильного барабана, у міжциліндричному просторі якого, продукти висушуються в умовах, подібних до умов у пневмобарабанних сушарках. В іншому кінці сушильного барабану встановлений циклон, у якому висушений осад відокремлюється від газів і вивантажується вниз, а очищені гази викидаються в атмосферу. Для запобігання налипання осаду на стінки барабана рекомендується знижувати його вологість, додаючи раніше висушений осад (ретур). Димові гази на вході мають температуру 400–600°C, на виході – 100–180°C.

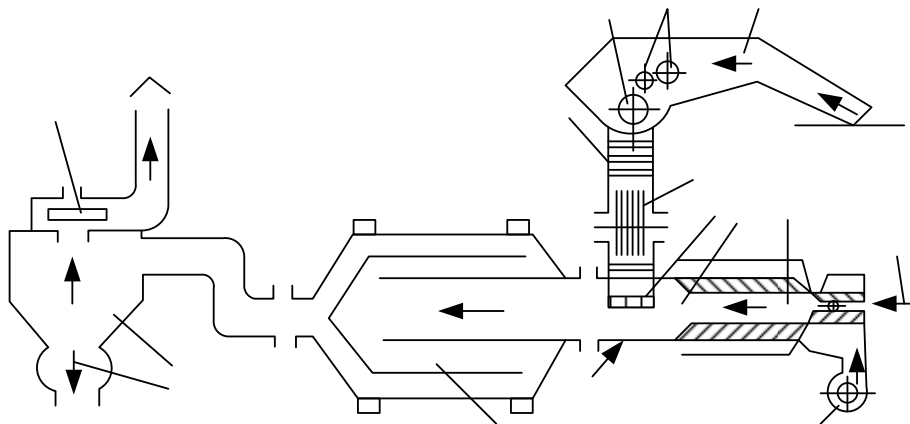


Рис. 7.15 Технологічна схема сушіння осадів стічних вод в агрегаті АВМ-0.65Ж: 1 - Подача зневодненого осаду, 2 - лопатеві вали для перемішування, 3 - гвинтовий конвеєр, 4 - стрічковий конвеєр, 5 - бітер, 6 - розбризкувач; 7 - топка; 8 - камера згоряння; 9 - форсунка; 10, 13 - вентилятори; 11 - сушильний барабан, 12 - циклон, 14 - висушений осад.

При частоті обертання барабана 8–15 хв⁻¹ продуктивність сушарки становить 600–1200 кг/год, вологість висушеного – осаду 10–20%. Витрата електроенергії відповідно 0,02-0,04 кВт-год, а дизельного палива - 0,11-0,13 кг на 1 кг вологи, що випаровується.

Для вибору режиму сушіння вивчалися властивості осадів міських стічних вод, зневоднених на вакуум-фільтрах і центрифугах. При цьому встановлено, що сушіння осадів протікає у два періоди: 1) при постійній швидкості й 2) при падаючій швидкості (рис. 7.16). У першому періоді (ділянка $u_1 - u'_{кр}$) швидкість сушіння визначається умовами зовнішнього тепло- і масообміну між поверхнею матеріалу й сушильним агентом, у другому – умовами перерозподілу вологи й теплоти усередині шару матеріалу. Другий період сушіння механічно зневоднених осадів розділяється на дві ділянки. Перший, що примикає до ділянки періоду постійної швидкості сушіння ($u'_{кр} - u''_{кр}$), має лінійне зниження швидкості сушіння зі зменшенням вологовмісту. На другій ділянці ($u''_{кр} - u'''_{кр}$) поверхня випару йде в глиб шару осаду, в результаті чого утворюється шар осаду, під яким перебуває волога зона. При застосуванні інтенсивних режимів сушіння - з більшими швидкостями й високими температурами сушильного агента, що характерно для сушіння зневоднених осадів у зваженому стані, - перший період сушіння значно скорочується. Для матеріалів, що сохнуть, подібно осадам, з утворенням на поверхні сухої кірки, ефективним є поновлення періоду постійної швидкості сушіння шляхом руйнування кірки з відновленням вологих поверхонь. Таке руйнування кірки може бути досягнуто здрібнюванням вологих матеріалів у процесі сушіння.

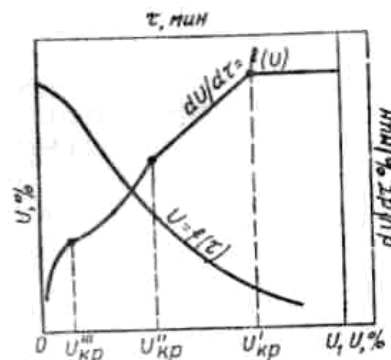


Рис. 7.16 Кінетика сушіння механічно зневоднених осадів u – вологовміст осаду; τ – час сушіння.

Кінетика сушіння зневоднених осадів підтверджує доцільність застосування методу їхнього сушіння з одночасними здрібнюванням і максимальною інтенсифікацією процесів зовнішнього тепло- і масопереносу. Розглянемо можливості зазначеної інтенсифікації шляхом аналізу рівняння конвективного теплообміну між середовищем і поверхнею осаду, який висушується

$$Q = a\Delta tF, \quad (7.10)$$

де Q – витрата теплоти на нагрівання осаду і випаровування з нього вологи; a – коефіцієнт теплообміну; Δt – рушійна сила переносу теплоти (різниця температур); F – площа поверхні тепло- і масообміну.

При сушінні у зваженому стані час контакту сушильного агента з осадом незначний. Тому, як показує закордонний досвід сушіння зневоднених осадів у трубах-сушарках, можна застосовувати високотемпературний сушильний агент при температурі 500–800°C без небезпеки вигорання осаду, навіть при його сушінні до 5–10%-ної вологості. При максимальному значенні Δt подальша інтенсифікація процесу сушіння може бути досягнута в результаті збільшення добутку aF . При заданому розмірі часток висушеного осаду це збільшення досягається внаслідок зростання відносної швидкості руху газу і осаду, а також великої концентрації осаду в зоні сушіння, тобто зростання площі поверхні тепло- і масообміну.

Розгляд можливих методів сушіння матеріалів у зваженому стані показує, що одним з найбільш ефективним є метод сушіння в зустрічних струменях газозависі. Сутність цього методу полягає в тім, що частки матеріалів, перебуваючи у зваженому стані в гарячому газовому потоці, утворюючи разом з ним так звану газозавись, рухаються по співвісних горизонтальних трубах назустріч один одному й у результаті ударної зустрічі струменів вступають у коливальний рух, проникаючи з одного струменя в інший. Це призводить до збільшення концентрації матеріалів у зоні сушіння. При досить високих швидкостях сушильного агента відбувається здрібнювання матеріалу, що сприяє, як відзначалося вище, руйнуванню кірки й відновленню вологих поверхонь. При цьому також збільшується сумарна площа поверхні тепло- і масообміну. Зі збільшенням швидкості газу в зустрічних струменях зростає інтенсивність коливального руху часток матеріалу й глибина їхнього проникання в протилежний струмінь.

Ефективний (розрахунковий) коефіцієнт теплообміну в зустрічних струменях, так само, як і гідродинамічний опір, приблизно прямо пропорційний квадрату швидкості газового потоку. Внаслідок цього швидкість практично обмежується тільки умовами здрібнювання часток матеріалу й зношування стінок сушильної камери розгінних труб. Як відомо, при інших способах сушіння ріст гідродинамічного опору сушарки зі збільшенням швидкості потоку істотно випереджає ріст тепло- і масообміну, що робить неефективною інтенсифікацію процесу внаслідок значного збільшення швидкості потоку.

Для відділення дрібних фракцій висушеного осаду, що погіршують умови його транспортування, і більш глибокого сушіння великих фракцій запропонована схема комбінованої сушильної установки, що працює в змінному режимі зустрічних струменів й аерофонтанування. Аерофонтанний пристрій застосовується для збільшення часу контакту

сушильного агента з осадом, що сприяє досушуванню осаду при здійсненні процесу в другому періоді. Крім того, на такому апараті можлива класифікація висушеного осаду.

Запропонована сушарка (рис. 7.17) є двоступінчастим апаратом, нижній щабель якого - елемент із зустрічними струменями, а верхня - аерофонтанний апарат. Зневоднений на вакуум-фільтрах або центрифугах осад стрічковим конвеєром і двухвалковими шнековими живильниками подається в сушильний елемент із зустрічними струменями. Елемент виконується у вигляді двох горизонтальних розгінних труб, врізаних соосно у вертикальний стояк. При цьому сушіння здійснюється по ретурній схемі з добавкою дрібних висушених часток до механічно зневодненого осаду і вивантаженням сухого гранульованого осаду безпосередньо з аерофонтанного апарату. Кек з ретуром змішується у двухвалковому шнековому живильнику, що забезпечує видачу однорідної за складом й вологістю суміші. Додавання ретура поліпшує умови проходження суміші через живильник і сушарку. Як показали розрахунки, при застосуванні ретура в кількості до 20% маси механічно зневодненого осаду опір сушарки збільшується всього на 2-3%.

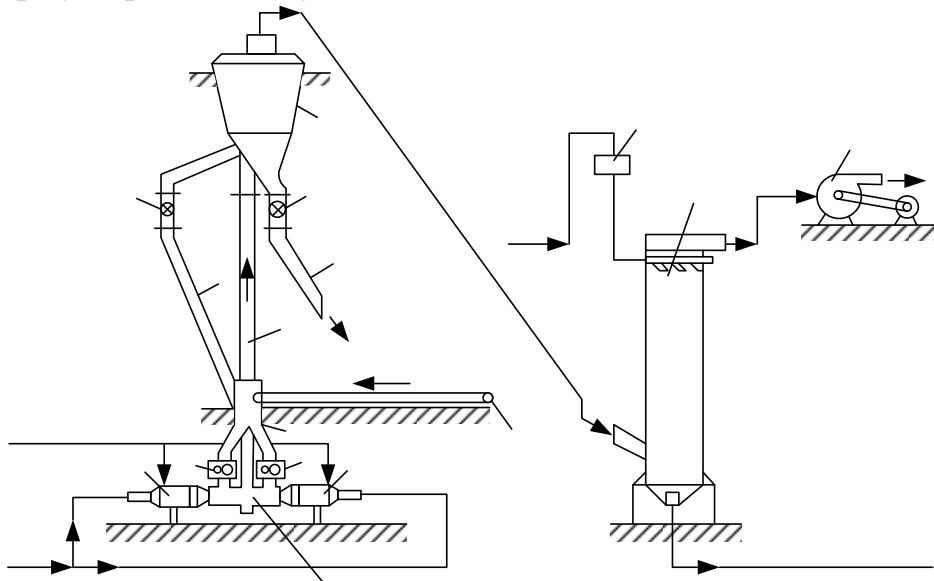


Рис. 7.17 Схема установки для термічної сушки механічно зневоднених осадів в сушарці із зустрічними струменями: 1 - стрічковий конвеєр для подачі осаду; 2 - приймальна камера, 3 - двовалкові шнекові живильники,

4 - сушильна камера з розгінними трубами, 5 - камери згоряння; 6 - вертикальний стояк, 7 - трубопровід для ретура; 8 - шлюзові затвори; 9 - сепаратор повітряно-прохідного типу, 10 - трубопровід сухого осаду; 11 - подача осаду в бункер готового продукту; 12 - напірний бак, 13 - водяний скруббер; 14 - вентилятор; 15 - відвід очищених газів в атмосферу; I - повітря; II - паливо (газ); III - вода; IV - шлам в каналізацію.

Як другий щабель сушіння (аерофонтана) доцільно використовувати сепаратори, що випускаються серійно промисловістю, повітряно-прохідного типу. Ці апарати призначені для поділу сипучих матеріалів на фракції, але в них може відбуватися і досушка матеріалів.

Сепаратори повітряно-прохідного типу можуть застосовуватися як для неглибокого сушіння осадів (до 40–50%), так і для одержання більш сухого осаду. При цьому температуру газів перед сепаратором можна встановлювати в межах 200–300° С у залежності від необхідного ступеня сушіння. Застосування комбінованого режиму сушіння дозволяє одержувати висушений осад низької вологості при низьких питомих витратах теплоти й повітря та високій об'ємній напрузі сушарки по вологості.

На відміну від описаної вище сушарки (див. рис. 7.17) для забезпечення рівномірності сушіння пастоподібних матеріалів і можливості спалювання висушених пилоподібних фракцій ця сушарка обладнана прийомним бункером і бункером готового продукту. Для поліпшення газоочистки, крім водяного скрубера, установка має батарейний циклон і трубу Вентурі. Безпека роботи установки забезпечується застосуванням пневматичної автоматичної системи, що відтинає у випадку аварійної ситуації подачу палива в камери згоряння. Є ряд додаткових живильників і пристроїв, що дозволяють використати установку для сушіння різних пастоподібних продуктів. Розроблено варіанти конструкцій сушарки, що працюють на газі і мазуті. Однак всі ці поповнення не є необхідними для термічного сушіння осадів стічних вод і ускладнюють пуск та експлуатацію сушарок.

Для спрощення конструкцій сушильної установки і можливості її виготовлення розроблена сушарка із зустрічними струменями продуктивністю 0,7-1 т/год. В установці виключені бункери, зменшена висота сушарки, спрощена подача осаду, замість відсмоктувального вентилятора (димосмока) передбачений ежекторний скрубер, спрощена система автоматики. Для рівномірного розподілу осаду по порожнині розгінної труби сушарка дообладнана розпилювачами осаду. На сушіння подається зневоднений на центрифугах із флокулянтами осад. Висушений осад має вологість 45-50%, продуктивність сушарки досягає 9-10 т/год.

Термічно висушений осад являє собою незаражений сипучий полідисперсний продукт із переважним розміром часток 1-7 мм.

Основні технічні параметри сушарок наведені в табл. 7.5.

Термічне сушіння осадів призначається для обеззараження і зниження маси та об'єму осадів, попередньо зневоднених механічними методами. Термічне сушіння проводиться в барабанних і пневматичних сушарках, в установках із зустрічними струменями, в агрегатах вітамінного борошна, в сушарках з фонтануючим шаром і та ін.

Таблиця 7.5 – Технічна характеристика сушарок з зустрічними струменями

Показник	Значення
Вологість осаду, %:	
до сушіння	65...85
після сушіння	30...50
Продуктивність установки по випаруваній волозі, т/год	0,7...10
Температура сушильного агента, °С	
початкова	500...800
кінцева	100...150
Тиск повітря перед соплом, МПа	0,11...0,15
Швидкість витікання газів із сопла, м/с	100...400
Питомі витрати на 1 кг випареної волози теплоти, МДж:	3,4...3,9
Умовного палива, кг	0,114...0,128
Сухого повітря, кг	4...5
Електроенергії, кВт·год	0,02...0,06
Напруга об'єму по випареній волозі, кг/(м ² ·год)	700...1000
Осад первинних відстійників	19...21
Активний мул	15...19
Зброджений осад	13...17

Технологічна схема сушіння осадів із застосуванням установки із зустрічними струменями наведена на рис. 7.18. Промисловістю випускаються установки СВС-1 ,4-2, 2; СВС-3,5-5; СВС-9-10 продуктивністю по випареній волозі відповідно 1,4–2,2; 3,5–5 та 9–10 т/год. Корпус термічної обробки з двома агрегатами СВС-3,5-5 має розміри в плані 30х12 м і висоту 14,4 м (частково 7,0 м).

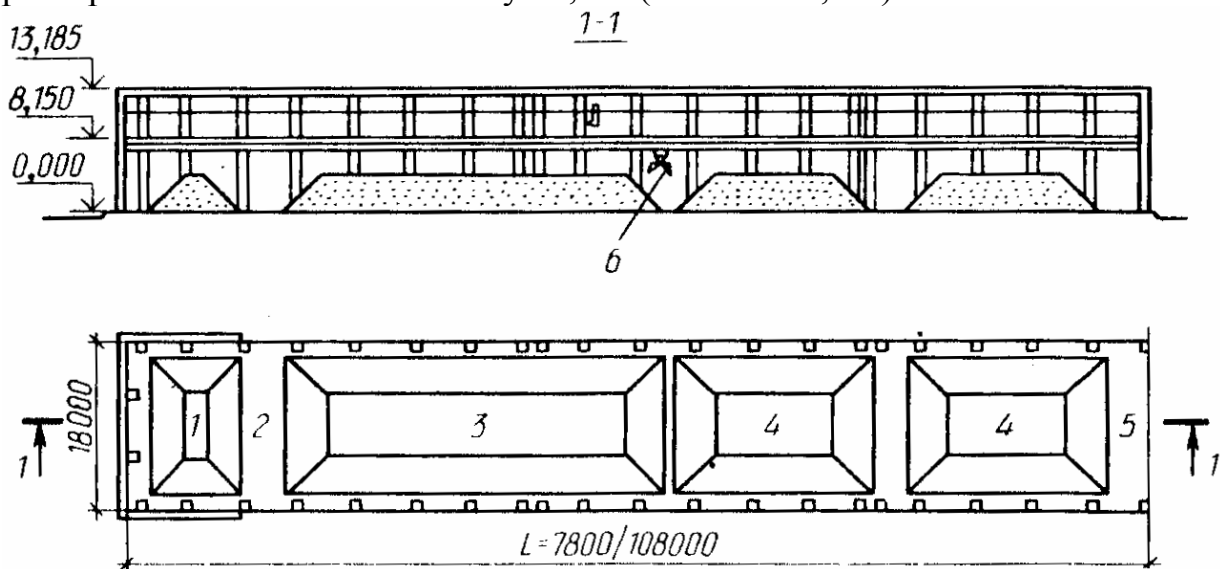


Рисунок 7.18 Типова споруда компостування осаду: 1 - закрыта площадка для зберігання присадочного матеріалу; 2 - площадка для навантаження готового компосту; 3 - площадка дозрівання; 4 - площадка компостування; 5 - площадка змішування осаду з присадочним матеріалом; 6 - кран.

7.7. Спалювання осадів

Спалювання – процес окислення органічної частини осадів при підвищеній температурі до нетоксичних газів (двоокису вуглецю, водяної пари і азоту) і виділення мінеральної частини у вигляді розплаву або сухого порошку (золи). Осади міських стічних вод доцільно спалювати після їх механічного зневоднення або термічного сушіння в тих випадках, коли вони не можуть бути утилізовані в сільському господарстві в якості органічного добрива. Економічно доцільно спалювати також шлами виробничих стічних вод деяких підприємств хімічної, нафтопереробної, вугільної та інших галузей промисловості.

З технологічної точки зору спалювання являє собою метод знешкодження осадів з одночасним використанням останніх у якості палива і утилізацією теплоти, що виділяється, а в ряді випадків золи, що утворюється, у технологічній схемі обробки осадів. Теплота використовується для підігріву повітря, необхідного для спалювання, а зола – як присадковий матеріал для інтенсифікації процесу зневоднення осадів на вакуум-фільтрах або фільтр-пресах.

Горінню зневоднених осадів завжди передує ендотермічний процес їх теплової підготовки, що включає прогрів матеріалу, випаровування вологи і виділення летких компонентів. Витрати теплоти на цей процес досить значні і у ряді випадків можуть перевищувати кількість теплоти, що виділяється при згорянні осадів, тобто для спалювання може знадобитися додаткова кількість палива.

У якості топкового обладнання для спалювання осадів стічних вод за кордоном в основному застосовуються багатоподові печі, печі з киплячим шаром інертного носія, а також барабанні печі, шарові і камерні.

Шарові печі мають ряд недоліків, а саме, низьке навантаження по масі, складність організації топкового процесу, громіздкість і металоємність, наявність дорогих колосникових ґрат, високі капітальні і експлуатаційні витрати, що обмежують їх широке використання для спалювання осадів стічних вод [2-5].

Барабанна піч (рис. 7.19) являє собою похилий сталевий циліндр, футерований вогнетривкими матеріалами. Барабан обертається із частотою $0,8-2 \text{ хв}^{-1}$. За рахунок гладкої поверхні футеровки барабана матеріал, що спалюється, сковзає по ній, не перевертаючись, тому для досягнення ефективного вигорання органічних речовин барабан повинен мати значну довжину, у ряді випадків 15-25 м.

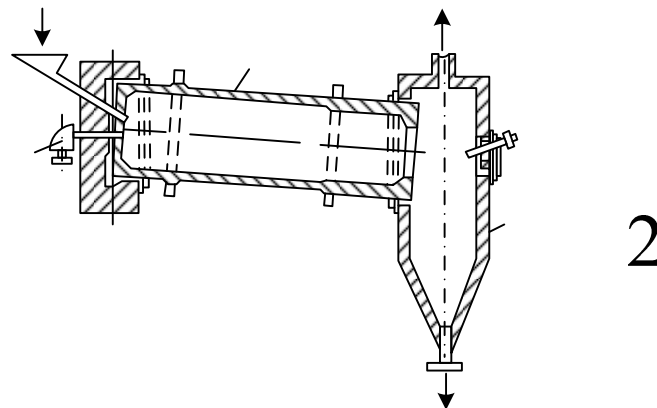


Рис. 7.19 – Обертова барабанна піч:

1 - пальник, 2 - подача зневоднених осадів; 3 - барабанна піч; 4-вихід вихідних газів, 5 - камера допалювання і осадження золи; 6 - випуск золи

Схильність зневоднених осадів до згурдження (утворення клейких кульок) викликає значний недопал органічних речовин, тому на виході з обертової печі встановлюється камера допалювання, що одночасно є камерою осадження золи. Футеровка печі при обертанні перебуває в умовах частої зміни температури, що викликає утворення тріщин і швидко виводить її з ладу. Крім того, з метою зниження маси барабана футеровку роблять невеликої товщини, тому втрати тепла у навколишнє середовище значні, і для їх поновлення потрібне додаткове паливо.

Багатоподова піч (рис. 7.20) являє собою камеру із циліндричною сталеву оболонкою діаметром 3-7 м і висотою 4-15 м, футеровану вогнетривкими матеріалами, яка має від 5 до 12 горизонтальних вогнетривких подів. Поди мають отвори, які чергуються для завантаження і вивантаження зневодненого осаду, що рухається зверху. Димові гази рухаються назустріч потоку осаду.

По осі печі розташований порожній вал, що обертається із частотою 0,5–3,5 хв⁻¹. До вала над кожним подом прикріплені по дві радіальні мішалки із зубами, за допомогою яких осад пересувається до периферійних або центральних отворів, через які попадає на лежачі нижче поди. Центральний вал і відводи прохолоджуються повітрям, що подається повітрорудкою. Повітря нагрівається топковими газами і надходить у зону горіння печі.

На верхніх подах випаровується основна частина вологи, на середніх подах при температурі 800–900°C осади згоряють, а в нижній частині печі відбувається охолодження золи, що утворюється.

В даний час багатоподові печі різної продуктивності експлуатуються у США, Англії, Японії та інших країнах. Багатоподові печі мають ряд недоліків. Вони вимагають застосування дорогих жаростійких чавунів для виготовлення порожнього вала і скребкових мішалок, що зазнають впливу високих температур і корозійного середовища. У цих печах необхідно

часто замінити скребкові зуби через прогорання їх у місцях занурення в палаючий шар осадів, у зв'язку із чим необхідно використовувати дороге хромонікелеве лиття. До інших недоліків відноситься: наявність обертових елементів у зоні високих температур; низькі питомі теплові навантаження і навантаження по масі топкового об'єму, що призводять до збільшення габаритів установки, високих капітальних і експлуатаційних витрат.

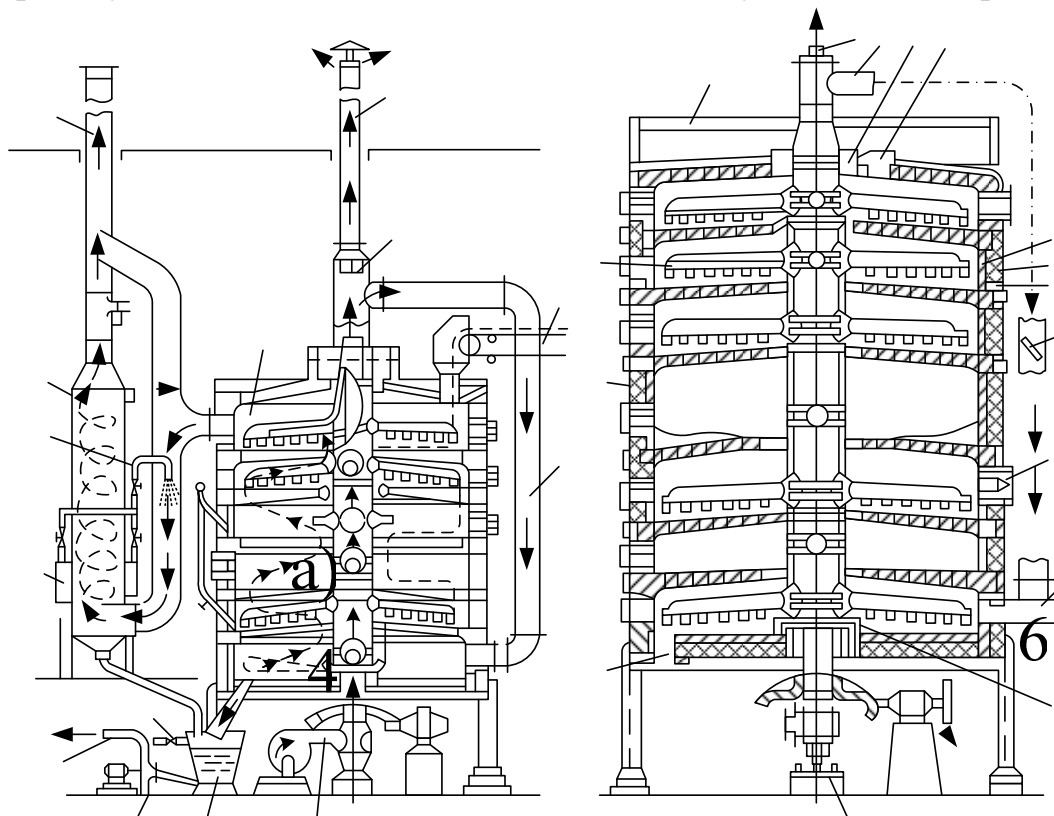


Рис. 7.20 – Багатоподова піч «Херешоф»: а – схема роботи; б – поперечний розріз; 1, 2- форсунки; 3- скрубер; 4- димар; 5 – топковий простір; 6 – труба для скидання відпрацьованого повітря; 7 – заслінка; 8- транспортер; 9 - рециркуляційна труба; 10 - вентилятор; 11 – бак з водою для золи; 12 – насос для золи; 13 – відвідний трубопровід для золи; 14 – трубопровід оборотної води; 15 – ізоляція; 16 – лопасть; 17 – верхня рама; 18 – труба для випуску надлишку холодного повітря в атмосферу; 19 – патрубок для повернення в топку гарячого повітря; 20 – затвор; 21 – завантажувальний люк; 22 – сталева оболонка; 23 і 24 – цегла відповідно ізоляційна і вогнетривка; 25 – демпфер; 26 – паливний пальник; 27 – штуцер для повернення гарячого повітря; 28 – патрубок для введення охолодженого повітря у вісь і лопасті; 29 – труба для виходу золи

Для спалювання осадів застосовуються печі з киплячим шаром інертного носія (рис.7.21). Процес спалювання осадів в умовах псевдозрідженого шару значно ефективніший, ніж у стаціонарному шарі.

Утворення псевдозрідженого шару досягається застосуванням дуття, інтенсивність якого перевищує межу стійкості щільного шару.

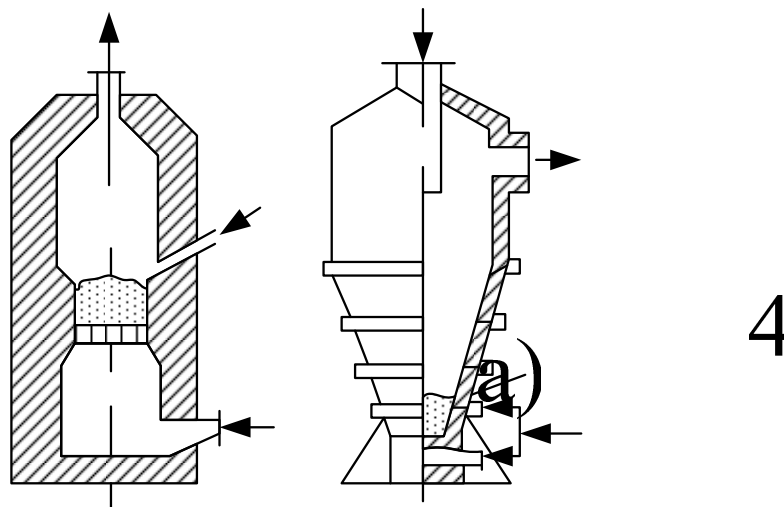


Рис. 7.18 – Схеми печей з киплячим шаром інертного носія для спалювання осадів стічних вод: а - циліндрична; б - циліндроконічна; 1 - подача зневоднених осадів; 2 - киплячий шар інертного носія; 3 - подача повітря, 4 - відвід вихідних газів.

Псевдозрідження шару матеріалу може здійснюватися в камерах (реакторах) різних конструкцій із горизонтальними перфорованими перегородками, які призначені для підтримки матеріалу до і після псевдозрідження, а також рівномірного розподілу агента, що зріджує, по перетину апарата (рис. 7.22).

Процес спалювання осадів в умовах псевдозрідженого шару значно ефективніше, ніж у стаціонарному шарі. Схема установки печі киплячого шару (КШ) наведена на рис. 7.21. В якості інертного матеріалу в киплячому шарі застосовують кварцовий пісок з розміром фракцій 1–5 мм або фторопласт. Продуктивність печі по випареній волозі становить 1–2 т/год. Температура повітря та газів на вході в піч 600–700 °С, в киплячому шарі 650–750, в топковій камері над киплячим шаром 900–1000°С. Навантаження по випареній волозі на 1 м³ обсягу печі 60–100 кг/ч. Винесення золи з газами, що відходять 80–100%. Робоча швидкість повітря, віднесена до площі решітки, 1,2–2 м/с. Питома витрата тепла 4–4,6 МДж на 1 кг випареної вологи, питома витрата електроенергії 0,04–0,05 кВт·год на 1 кг випареної вологи.

У якості інертного матеріалу застосовується пісок з розміром фракції 1–5 мм або фторпласт. Висота киплячого шару становить 0,5–1,5 м. Оброблюваний матеріал, потрапляючи в інертний шар, змішується з ним, налипає на його частки, утримується до висихання і часткового згоряння. Остаточне допалювання осаду газів, що виділилися, проводиться у верхній частині реактора. Зола, що утворилася, складається з пилоподібних часток розміром 1–150 мкм і легко виноситься з реактора

потоком вихідних газів. Тепло вихідних газів використовується для підігріву повітря, що подається в реактор, до температури близько 500°C. Із цією метою після реактора встановлюється теплообмінник. Гази, що викидаються, остаточно очищаються від пилу в циклоні і мокрому скрубєрі. Зола відділяється гідравлічним способом у золовідвал при очисній станції.

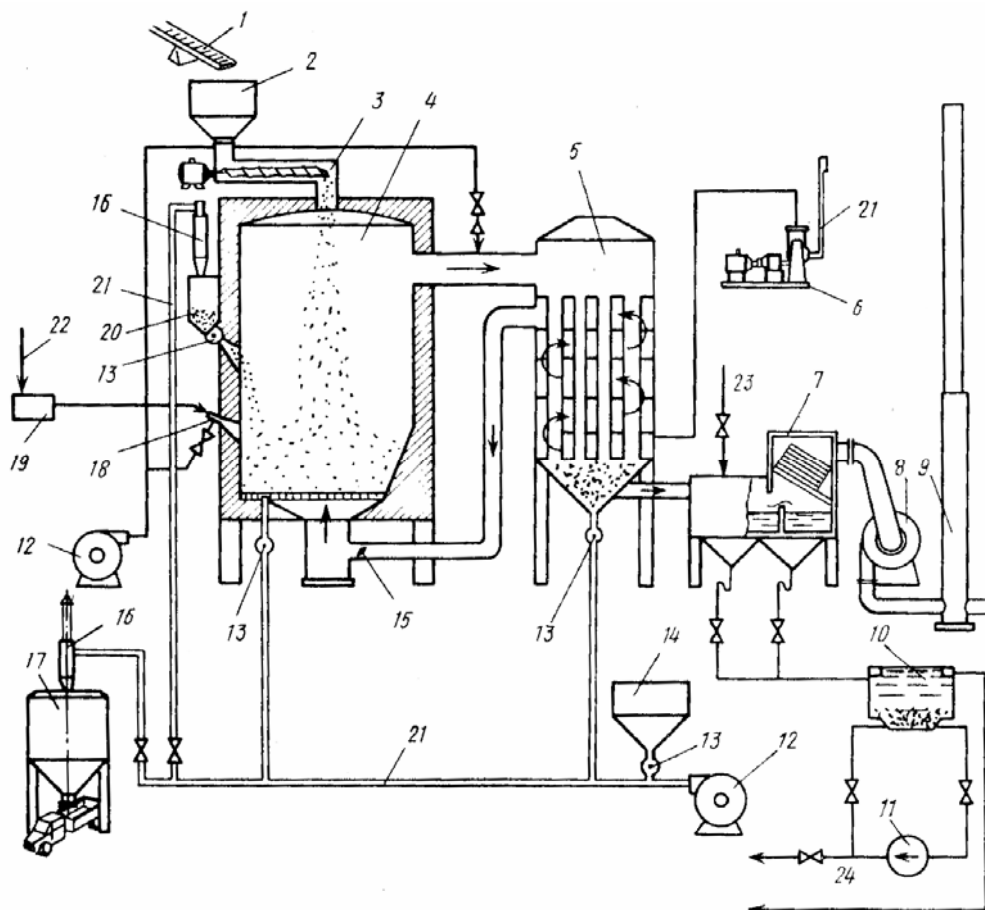


Рисунок 7.22 Схема спалювання осаdів в печі киплячого шару: 1 - стрічковий транспортер; 2 - бункер загрузки осаду; 3 - шнековий живильник; 4 - піч; 5 - рекуператор; 6 - повітредувка; 7 - мокрий пиловловлювач; 8 - димосмок; 9 - димова труба; 10 - золова ємність; 11 - насос перекачки золової води; 12 - вентилятор; 13 - шлюзовий живильник; 14 - бункер для піску; 15 - заслонка; 16 - циклонний розвантажувач; 17 - бункер вивантаження золи; 18 - газова горілка; 19 - газорегулятор; 20 - бункер-дозатор; 21 - повіртепровід; 22 - трубопровід топкового газу; 23 - водопровід; 24 - золопровід; 25 - каналізаційний трубопровід.

До недоліків методу спалювання осаdів у киплячому шарі відносяться: нерівномірність розподілу і часу перебування в псевдозрідженому шарі оброблюваних часток твердої фази; можливість злипання і спікання твердих часток; необхідність установки потужного пиловловлюваного обладнання на виході газів із псевдозрідженого шару, особливо при різноманітному гранулометричному складі твердої фази та

ін. Продуктивність печей з киплячим шаром обмежена через труднощі рівномірної подачі і розподілу осаду по шару.

Інтенсифікація процесу спалювання осадів можлива при регенерації теплоти газів, що виходять із печі, для попереднього термічного сушіння механічно зневоднених осадів; збільшенні питомої сумарної площі поверхні часток, а також їх відносної швидкості і температури. Зазначені можливості найбільш повно і ефективно можуть бути реалізовані в топкових обладнаннях циклонного типу.

Застосування циклонних печей дозволяє усувати недоліки шарових печей і печей із киплячим шаром. У них досягається збільшення часу витання часток при одночасному їхньому подрібненні і інтенсифікації тепло- і масообміну, одержуваного в умовах закрученого потоку. Запалення і стабілізація полум'я забезпечуються поверненням часток гарячих продуктів згоряння з ядра до кореня полум'я, в результаті чого здійснюється механізація процесу, що є перевагою перед іншими способами спалювання осадів.

Принципова схема установки для спалювання термічно висушеного осаду в циклонній печі наведена на рис. 7.23.

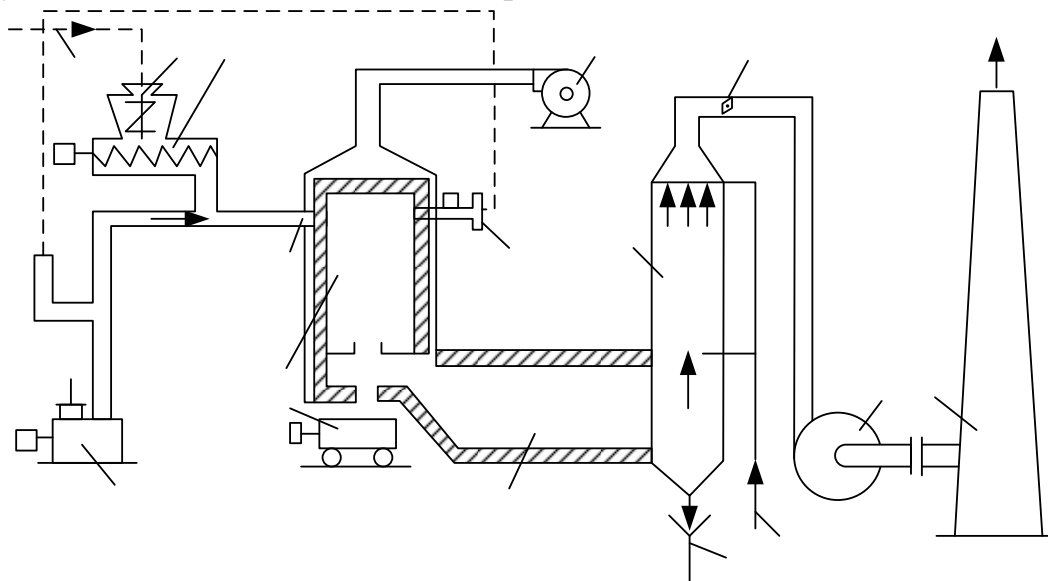


Рис. 7.23 – Схема установки для спалювання осадів у циклонічній печі: 1 - подача осаду; 2 - бункер джерела, 3 – шнекове джерело, 4 - вентилятор, 5 - газовий пальник; 6 - скруббер; 7 - шибер; 8 - димосмок; 9 - димова труба; 10 - подача води; 11 - дренаж; 12 - газохід; 13 - шлакозбірник; 14 - циклонна піч; 15 - пальник; 16 - компресор

Основним апаратом установки є циклонна піч, що представляє собою вертикальну циліндричну камеру із внутрішнім об'ємом $0,1 \text{ м}^3$, діаметром $0,4 \text{ м}$, висотою $0,75 \text{ м}$ і діаметром діафрагми $0,16 \text{ м}$. Піч футерована вогнетривкою цеглою із зовнішнім повітряним охолодженням. Охолоджене повітря надходить у верхню частину корпусу, по кільцевому

зазору проходить униз і скидається в газохід, де перемішується з топковими газами. Для запалення матеріалу в піч вводиться газ, що спалюється в спеціальному пальнику. Подача і розпилення матеріалу проводяться тангенціально за допомогою стисненого повітря. Для випуску розплаву мінеральних домішок нижня частина робочої камери виконана з гарнисажною футеровкою із проточним охолодженням. Газохід виготовлений із вогнетривкої цегли.

Оптимальна конструкція циклонної печі і режим її експлуатації при спалюванні осадів стічних вод визначаються в першу чергу теплофізичними характеристиками осадів конкретних типів (теплотою згоряння, виходом летких компонентів, температурою плавлення золи та ін.). При застосуванні в одному цеху устаткування для термічного сушіння і наступного спалювання осадів монтажні схеми суттєво спрощуються внаслідок об'єднання деяких транспортних систем і камер згоряння, подачі повітря і палива, та обладнання для очищення вихідних газів.

7.8 Термічне знешкодження твердих побутових відходів з утилізацією тепла для обробки осадів стічних вод

При наявності в осадах стічних вод підвищеного вмісту токсичних хімічних сполук і солей важких металів термічно висушені осади можуть використовуватися в якості палива і спалюватися із твердими побутовими відходами спільно або роздільно. У цьому випадку одержувана теплота може використовуватися для енергетичних потреб станції аерації.

Теплота згоряння, одержувана від спалювання твердих побутових відходів і осадів стічних вод, в основному залежить від їхньої вологості, зольності і елементарного складу. Побутове сміття горить без введення енергетичного палива при вологості до 60%, вмісті горючих компонентів більше 20% і зольності до 60%. При теплоті згоряння твердих побутових відходів $(6,3 \div 7,6) \cdot 10^3$ кДж/кг теплота згоряння суміші твердих побутових відходів і осадів стічних вод при зміні вологості останніх від 80 до 40% збільшується з $4 \cdot 10^3$ до $8,4 \cdot 10^3$ кДж/кг, а при вологості понад 80% різко скорочується. Тому осади стічних вод перед термічною сушкою і спалюванням доцільно механічно зневоднювати.

На великих підприємствах по переробці осадів стічних вод одна частина висушених і знешкоджених осадів може використовуватися в якості добрива, а інша частина спалюватися.

При кількості твердих побутових відходів, приблизно рівному кількості осадів стічних вод по масі, і позитивному балансі теплоти може застосовуватися термічне сушіння осадів без попереднього механічного зневоднення з наступним спалюванням (або без нього) термічно висушеного осаду.

Для спалювання твердих побутових відходів і термічної обробки механічно зневоднених осадів стічних вод за кордоном застосовуються багатоподові і барабанні печі, шарові печі, різне термічне обладнання, сушарки-дробарки та ін. Осади стічних вод можуть спалюватися в одному топковому об'ємі із твердими побутовими відходами.

Для термічного сушіння рідких осадів застосовують поверхневі теплообмінні апарати, що обігріваються димовими газами або паром, яка виробляється в казанах-утилізаторах. Найбільш простими і менш енергоємними є методи термічного сушіння механічно зневоднених осадів. Широке застосування для сушіння механічно зневоднених осадів отримали апарати, що працюють під розрідженням (наприклад, сушарки-дробарки, барабанні сушарки, багатоподові печі).

За способом, запропонованим фірмою «Келлер-Поукрет» (ФРН), у якості сушильного агента механічно зневодненого осаду використовується гаряче повітря, нагріте до 300°C димовими газами, одержуваними від спалювання сміття (рис. 7.24).

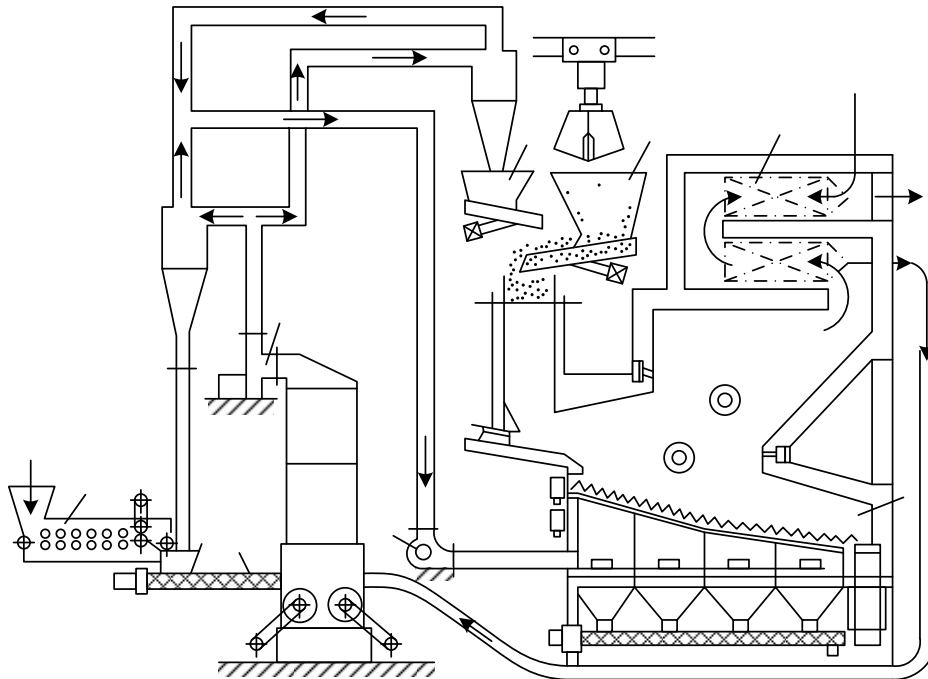


Рис. 7.24 – Установа для спільного спалювання осаду стічних вод та сміття за способом фірми «Келлер-Поукрет»: 1 - топка з колосниковими ґратами, 2 - подача осаду на зневоднення, 3 - стрічковий фільтрпрес; 4 - шнековий змішувач; 5-сушарка, 6 - сушильно-дробильна установка; 7 - вентилятор нижнього дуття; 8 - основний вентилятор; 9, 10 – циклони; 11 - завантажувальна лійка для осаду; 12 - завантажувальна лійка для відходів (сміття); 13 - повітрєпідігрівач (теплообмінник).

Двохвалкова ударно-роторна система в сушильно-дробильній установці дозволяє перемішувати і роздрібнювати частки осаду до

необхідних розмірів. Пари, що виділяються при термічному сушінні осадів, змішуються з повітрям і вентилятором направляються на дезодорацію в топку. Температура, використовувана для дезодорації пари, повинна бути не менш 750–800°C.

Замість нагрітого повітря для термічного сушіння осадів можуть використовуватись безпосередньо димові гази, одержувані від спалювання твердих побутових відходів.

На рис. 7.25 наведена схема сушіння й подачі осаду в піч системи «Дюссельдорф» для спільного спалювання із твердими побутовими відходами.

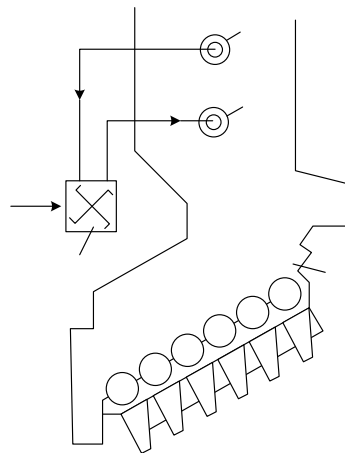


Рис. 7.25 Схема сушіння і подачі осаду стічних вод в піч системи «Дюссельдорф» для спільного спалювання з твердими відходами: 1 - сушка і подрібнення осаду стічних вод; 2 - подача осаду на сушку і дроблення, 3 - всмоктування димових газів для сушіння осаду, 4 - надходження висушеного осаду в піч, 5 – піч.

Для сушіння осаду використовується сушарка-дробарка механічно зневоднених осадів стічних вод (рис. 7.26). Сушарка-дробарка працює під розрідженням. Осад у ній може сушитися гарячим повітрям або димовими газами. У процесі сушіння температура димових газів падає з 900–800 до 200°C. Суміш пари і розмеленого висушеного осаду вологістю 5-10% подається в топку для дезодорації й спалювання.

За даними фірми «Інор», для більш ошадливої витрати теплоти доцільно встановлювати пароперегрівник і використовувати в сушарці-дробарці перегріту пару. Для запобігання згоряння органічної частини осаду температура повинна бути близько 500°C. Поданий у сушарку осад повинен мати вологість не більше 40%, для чого застосовується ретурна схема з підмішуванням висушеного осаду. Витрата електроенергії становить 60-70 кВт/год на 1 т висушеного осаду, витрата теплоти - 820 кКал/кг випаруваної вологи. Продуктивність сушарок-дробарок становить 0,3-4 т/год по випаруваній волозі.

Фірмою «Фон Ролл» (Швейцарія) запропонована комбінована піч, де тверді побутові відходи і осад спалюються на окремих колосникових

гратах. При цьому верхні колосникові грати призначені для спалювання попередньо зневодненого осаду, а нижні - для спалювання твердих побутових відходів. Колосникові грати мають зустрічний нахил і розташовані зі зсувом по горизонталі й по висоті.

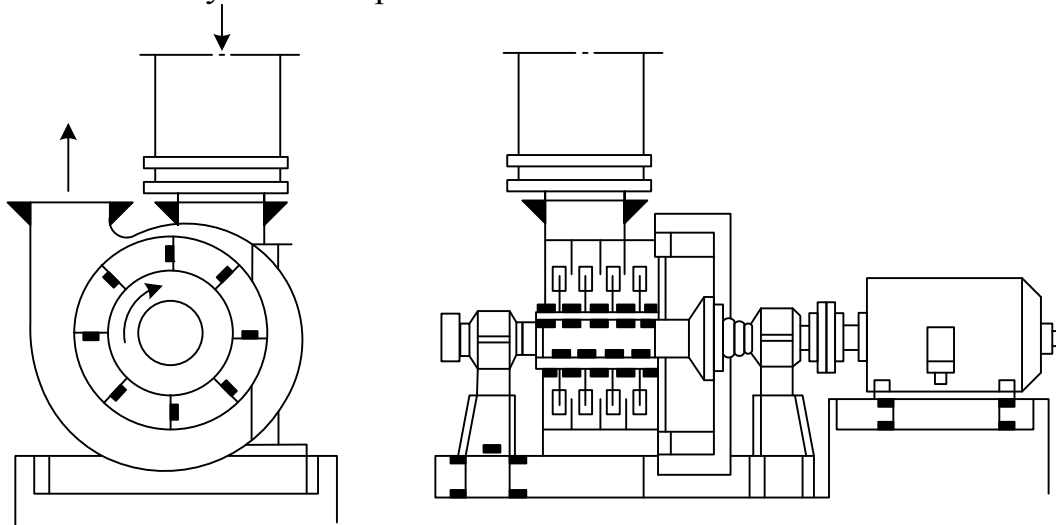


Рис. 7.26 Загальний вид сушки-дробарки механічно зневодненого осаду стічних вод.

Фірмою «Лургі» (Німеччина) розроблені дві схеми спалювання твердих побутових відходів й осадів стічних вод. По першій схемі сушіння осадів стічних вод і спалювання разом із твердими побутовими відходами здійснюються в многоподовій печі. Ця піч умовно підрозділяється на три зони: перша (зверху) – зона сушіння осаду з п'ятьма-сімома подами; друга – зона спалювання із двома високими подами і нормальною теплонапругою об'єму; третя – зона із двома подами для охолодження золи. Тверді відходи попадають безпосередньо в зону спалювання й займаються під впливом температури 850–900°C. Осад подається на верхні поди й за допомогою центрального вала, оснащеного лопатами, проходить через наступні поди (у напрямку, зворотному потоку гарячих димових газів). Необхідне для горіння повітря проходить через східчасті поди для охолодження золи, де нагрівається з 20 до 500°C. Зола потрапляє з нижнього поду на скребковий конвеєр, зволожується й поринає в транспортні ковші, якими подається на вивантаження. Частина димових газів з випаром із зони сушіння осаду для дезодорації може направлятися в зону спалювання.

Другою схемою передбачається роздільне спалювання твердих побутових відходів - у печі з наклонними колосниковими гратами й осадів стічних вод із багатоподової печі. Поділ продуктів, що спалюють, по двох установках дозволяє врахувати різну інтенсивність їхнього горіння й використати теплоту, одержувану при спалюванні відходів, для підсушування осадів шляхом пропуску гарячих димових газів через багатоподову піч.

Недоліками наведених схем із багатоподовими печами є їхня складність, неповна дезодорація газів, що відходять, та необхідність попереднього дроблення матеріалу. Досліди, проведені фірмою «Фон Ролл», показали, що повне спалювання механічно зневодненого осаду в суміші із твердими побутовими відходами досягається в обертовій барабанній печі.

Фірмою «Cosea» (Франція) розроблена установка для обробки рідких осадів з утилізацією теплоти димових газів від спалювання твердих побутових відходів по методу «Ібісок». Установка включає розпилювальну піч для спалювання осаду і сушарку. Димові гази від спалювання твердих побутових відходів у печі з температурою 900–1000°C надходять у розпилювальну піч для спалювання осаду, де назустріч потоку димових газів за допомогою насосу-дозатора й розпилювача впорскується осад. Краплі осаду підсушуються, підхоплюються потоком димових газів, згоряють і піднімаються у верхню частину печі.

Димові гази, проходячи сушарку, охолоджуються й направляються у фільтр для очищення, звідки вони відсмоктуються вентилятором і викидаються через трубу в атмосферу. Затримана зола й мінеральні частки збираються в збірнику й через секторний затвор видаляються. Залишок від спалювання твердих побутових відходів у вигляді золи й незгорілого сміття (в основному металу) конвеєром виводиться з печі. За допомогою магніту з нього витягається метал, а інша частина вивозиться па смітник або використовується для планування земельних ділянок.

Фірмою «Фон Ролл» для сушіння рідких осадів рекомендується використовувати парові сушарки типу «Люва». Пара одержують у казані-утилізаторі сміттєспалювального заводу.

Збільшення вмісту пластмас, гуми та інших компонентів у складі твердих побутових відходів, спалювання яких утруднене або супроводжується утворенням шкідливих сполук, обумовило розробку й застосування нового методу термічної переробки відходів - піролізу. Метою цього процесу - розкладання органічних речовин шляхом нагрівання матеріалу в збідненому киснем середовищі з одержанням горючого газу, смоли й вугілля. Піроліз має деякі переваги перед спалюванням: збільшується кількість теплоти, використовуваної на утилізацію, а одержуване тверде, рідке й газоподібне паливо можна зберігати і використовувати для термічного сушіння осадів стічних вод у високоефективних апаратах. При піролізі шлаки й димові гази, що відходять, утворюються в менших обсягах завдяки невеликим витратам повітря. Крім того, можливий спільний піроліз твердих побутових відходів і механічно зневоднених осадів стічних вод. При розміщенні піролізної установки на одній площадці з очисними спорудами значно спрощується

очищення стічних вод, що утворюються при газоочищенні, охолодженні і грануляції шлаків.

Співвідношення одержуваних газу, смоли й вугілля залежить головним чином від температури процесу, вмісту у вихідному продукті органічних речовин і його вологості. Процес піролізу залежно від температури в нижній зоні (спалювання) може бути низькотемпературним (до 600° С), середньотемпературним (600–1050°С) і високотемпературним (1400–1800°С). Перші два процеси вимагають попереднього сортування й дроблення твердих побутових відходів, останній процес може здійснюватися без якої-небудь попередньої обробки. Процеси піролізу в цей час ще освоюються як у нашій країні, так і за рубежом.

Для переробки твердих побутових відходів й осадів стічних вод перспективним може виявитися високотемпературний піроліз, у якому температура процесу перевищує температуру плавлення більшості складових твердих побутових відходів і осадів стічних вод. При високотемпературному піролізі швидкість реакцій зі збільшенням температури зростає по експоненті, у той час як теплові втрати зростають лінійно. При цьому відбувається більше повний вихід летучих продуктів і скорочується обсяг і кількість шлаків.

Процеси спалювання, піролізу й компостування доцільно розглядати не як конкуруючі, а як доповнюють один одного. Технічні й економічні фактори зіставлення різних методів свідчать про те, що найбільш перспективними на найближчі роки з'являться компостування механічно зневоднених осадів стічних вод, спільне компостування твердих побутових відходів й осадів стічних вод, а також спалювання твердих побутових відходів з утилізацією теплоти для термічної обробки осадів.

7.9 Утилізація осадів в якості добрив

Осади побутових стічних вод міст і інших населених пунктів є цінним добривом, що значно підвищує врожайність овочевих, зернових, плодоягідних, квіткових і кормових сільськогосподарських культур.

Використання осадів за умови відповідності їх складу технічним вимогам має велике народногосподарське значення:

- усуває забруднення навколишнього середовища;
- скорочує витрати хімікатів для добрив і води для поливу, знижує витрати на дорозі водоохоронні об'єкти;
- суттєво допомагає підвищити врожайність сільськогосподарських культур.

Осади міських стічних вод можуть використовуватися у сільському господарстві в якості органо-мінерального азотно-фосфорного добрива, що містить необхідні для розвитку рослин мікроелементи. При

використанні в технології обробки осадів в якості реагенту вапна осадки можуть розглядатися як вапняні добрива.

Осади містять усі основні живильні речовини, необхідні для добрива, поступаючи перегною лише по кількості калію.

Доцільність утилізації осадів в якості добрива визначається комплексним вмістом у них біогенних елементів на підставі показників станції аерації (табл. 7.6).

З табл. 7.6 видно, що найціннішим органічним добривом, особливо багатим азотом і фосфором, є активний мул, а також вміст удобрювальних речовин в осадах коливається в широких межах. Це пояснюється відмінністю складу міських стічних вод, що очищаються.

Таблиця 7.6 Вміст основних живильних речовин в осадах стічних вод, % від маси сухої речовини

Живильні речовини	Осад сирий	Сброджений	Активний мул	Суміш осаду первинних відстійників і активного мулу
Азот загальний	1,6-6	1,7-7,5	2,4-10	2-8
Фосфор загальний у перерахунку на P ₂ O ₅	0,6-5,2	0,9-6,6	2,3-8	1-7
Калій загальний у перерахунку на K ₂ O	0,1-0,6	0,2-0,5	0,3-0,4	0,2-0,5

Мінеральна частина осадів представлена в основному сполуками кальцію, кремнію, алюмінію і заліза. Подача на міські очисні станції різноманітних виробничих стоків обумовлює присутність в осадах ряду мікроелементів. Орієнтовний вміст мікроелементів, мг на 1 кг сухої речовини осадів, наведене нижче:

бор	до 15
кобальт	2-114
марганець	60-715
мідь	55-3200
молібден	0,5-11
цинк	40-5000

Із санітарної точки зору в якості добрив можуть використовуватися тільки ті осадки, які зазнали обробки, що забезпечує знищення патогенних мікроорганізмів, а також яєць гельмінтів.

У табл. 7.7 наведений середній зміст основних біогенних речовин в осадах у порівнянні із перегноєм і твердими побутовими відходами.

У табл. 7.8 приводяться дані по ефективності застосування ОСВ у порівнянні з мінеральними добривами.

З таблиці видно, що осадки стічних вод значно підвищують урожайність овочевих культур і зовсім не поступаються мінеральним

добривам. Найбільш ефективною формою є комбіноване добриво осаду з мінеральним калійним добривом. Така комбінація дає гарні результати при сприятливих агрокліматичних умовах ґрунту. В інших випадках дія мінеральних добрив слабшає, а в посуху приводить до зниженого врожаю.

Таблиця 7.7 Агрономічна цінність ОСВ, перегною і ТПВ

Добриво	вміст, % від маси сухої речовини				
	азоту загального	фосфору загального	калію	кальцію	магнію
Перегній кінський	2,16	1,79	1,80	1,66	0,53
Перегній коров'ячий	2,00	1,02	2,22	-	-
ТПВ	1,64	1,00	0,30	-	-
Сирий осад з відстійників	3,20	1,80	0,15	-	-
Осад сброджений:					
після первинних відстійників і мулових площадок	3,02	2,33	0,21	3,48	-
те ж, разом з активним мулом	3,03	3,70	0,18	3,29	0,95
після механічного зневоднення і термічного сушіння	1,96	3,92	0,007	5,21	5,81

Найбільша вдобрювальна цінність осаду спостерігається в заплавах і на суглинних ґрунтах. Останні відрізняються природними запасами калію, тому на цих ґрунтах добавка калію потрібна менше, чим на супіщаних. Добавка до осаду фосфорнокислих мінеральних добрив не дає позитивних результатів, тому що осад сам багатий фосфорною кислотою. Але деяка добавка азоту (30-40 кг/га), і калію (не менш 60 кг/га) приводить до значного підвищення врожаю. Важливим фактором підвищення є правильне дозування внесення осаду в якості добрива.

Проведені дослідження показали, що наявність у термічно висушеному осаді стічних вод станції аерації основних живильних макро- і мікрокомпонентів, необхідних для росту рослин, досить високий вміст органічної речовини й гарна фізична характеристика осаду підтверджують доцільність його утилізації як добрива.

З огляду на можливість нагромадження токсикантів у рослинах, було визнано доцільним обмежувати дозу внесення осадів у ґрунт. Критерієм для такого обмеження є нормативи по гранично допустимих концентраціях (ГДК) у ґрунті деяких важких металів й інших токсикантів, затверджені МОЗ України. У цей час розроблені ГДК, мг/кг у ґрунті для наступних металів: свинцю - 20 (понад фон в 12 мк/кг), кадмію - 9,

миш'яку - 20, нікелю - 50, хрому - 100, ртуті - 2,1, марганцю - 1500, ванадію - 150, марганцю + ванадію - 1000+100, суперфосфату (P_2O_5) - 200.

Таблиця 7.8 Ефективність осадів як добрива (грунт супіщаний)

Добриво	Урожай капусти		Урожай картоплі	
	ц/га	%	ц/га	%
Без добрива (контроль)	312	100	226	100
Мінеральне добриво	460	147	269	119
Прегній – 30 т/га	439	141	297	131
Осади сирі – 30 т/га	408	131	298	132
Осади зброджені - 30 т/га	434	139	275	122
Те ж, плюс K_{60} *	506	160	-	-

*Калійне добриво – 60 кг/га

Максимальну разову норму внесення осадів визначають розрахунковим шляхом, виходячи з можливого надходження в грунт шкідливих домішок. Принцип розрахунку полягає в тім, що після внесення осадів стічних вод сумарний вміст металу в ґрунті (з урахуванням розсіювання в орному шарі) не повинний перевищувати ГДК, мг/кг, визначеного з виразу

$$\Phi + Д < \text{або} = \text{ГДК}, \quad (7.11)$$

де Φ - вихідний вміст металу в ґрунті до внесення добрива, мг/кг; $Д$ - додаткове надходження даного металу в орний шар ґрунту з добривами, мг/кг. Значення допустимого надходження в ґрунт того або іншого металу або іншого токсиканта $Д_{\text{заг}}$ визначається за формулою

$$Д_{\text{заг}} = (\text{ГДК} - \Phi) 3000, \quad (7.12)$$

де 3000 - маса орного шару ґрунту, т/га, у перерахунку на суху речовину. Залежно від характеристики ґрунту значення допустимої добавки шкідливих домішок $Д_{\text{заг}}$ зменшують на понижуючий коефіцієнт $К$, визначений за формулою

$$К = K_1 K_2 K_3, \quad (7.13)$$

де K_1 - коефіцієнт, що враховує вміст гумусу (Γ) у ґрунті, при $\Gamma = 0,5-1,0\%$ $K_1 = 0,6$; при $\Gamma = 1-2\%$ $K_1 = 0,8$; при $\Gamma = 2-3\%$ $K_1 = 0,9$; при $\Gamma > 3\%$ понижуючий коефіцієнт не вводиться; K_2 коефіцієнт, що враховує механічний склад ґрунту. Для піщаних і супіщаних ґрунтів $K_2 = 0,7$, для суглинних ґрунтів $K_2 = 0,9$, для ґрунтів інших різновидів понижуючий

коефіцієнт не вводиться; K_3 - коефіцієнт, що враховує концентрацію водневих іонів у ґрунті.

Для ґрунту при $pH < 5$ і для осаду при $pH < 6K_3 = 0,4$; для ґрунту при $pH = 6,5-7,0$ і для осаду при $pH < 6K_3 = 0,5$; для ґрунту при $pH = 7-7,5$ і для осаду при $pH > 6K_3 = 0,8$.

Середня щорічна норма внесення осаду в ґрунт $D_{ср}$, т/га в рік на суху речовину, розраховується по формулі

$$D_{ср} = D_{заг} / TC_k, \quad (7.14)$$

де T – максимальний загальний строк внесення осаду на ділянку, роки; C_k – концентрація обумовленого елемента в осаді, г/т сухої речовини. Максимальна разова норма внесення осаду в ґрунт $D_{ср}$ при частоті внесення 1 раз в 5 років складе $5D_{ср}$, т/га в рік по сухій речовині. Максимальна доза D_{max} додатково обмежується по величині допустимої добавки азоту в ґрунт, що не повинна перевищувати $N_{доп} = 300$ кг/га в рік.

Висушений осад міських стічних вод, використовуваний як добриво для сільського господарства повинен мати наступну характеристику:

вологість	≤ 50
вміст, % маси сухої речовини:	
органічна речовина	≥ 40
азот загальний N	$\geq 1,6$
фосфор P_2O_5	$\geq 0,6$
калій K_2O	$\geq 0,2$
кількість пилоподібних фракцій $d < 250$ мкм, %, для осаду, що не містить фракції крупніше 30 мм.	≤ 10
Густина, $кг/м^3$	500 – 700

Такі ж вимоги пред'являються до компосту, одержуваного з осадів стічних вод.

На кожен партію (масою до 1000 т) осаду, що відпускає споживачеві, видається паспорт, у якому вказуються його тип, кількість, вологість, вміст органічної речовини, азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, гранулометричний склад, а також наявність шкідливих домішок - миш'яку, ртуті, свинцю, кадмію, нікелю й хрому. Термічно висушений осад і компост перевозять навалом і покривають брезентом, поліетиленовою плівкою або іншими захисними матеріалами. Для зберігання механічно зневоднених осадів, осадів з мулових площадок і компосту повинні передбачатися відкриті площадки із твердою основою, асфальтовані або асфальтобетонні. Висота шару осаду на площадках приймається рівною 1,5-3 м, ширина по верху 3 м, довжина не обмежується. Рівень залягання ґрунтових вод у місці, обраному під

площадку, повинен бути не менш 1-1,5 м. Площадка повинна розташовуватися на відстань 50 м від житлової зони. Варто передбачати механізацію вантажно-розвантажувальних робіт і повернення на очищення дренажних вод від споруд по зберіганню осадів. Зберігати висушений осад рекомендується в штабелях (буртах) масою не менш 100 т, вкритих поліетиленовою плівкою, торфом, соломою, ґрунтом (шаром 15-20 см).

7.9.1 Використання осадів побутових стічних вод

Технологічна схема цеху сухого добрива, побудована на базі очисних споруд, розрахованих на повне біологічне очищення 160 тис. м³ стічних вод на добу (рис. 7.27), передбачає спільне механічне зневоднення сирих осадів з первинних відстійників з ущільненим надлишковим активним мулом із вторинних відстійників. Дана суміш перекачується насосами 4НФ у резервуар ємністю 600 м³, звідки плунжерні насоси, розміщені в приміщенні цеху, подають осад в реагентне відділення.

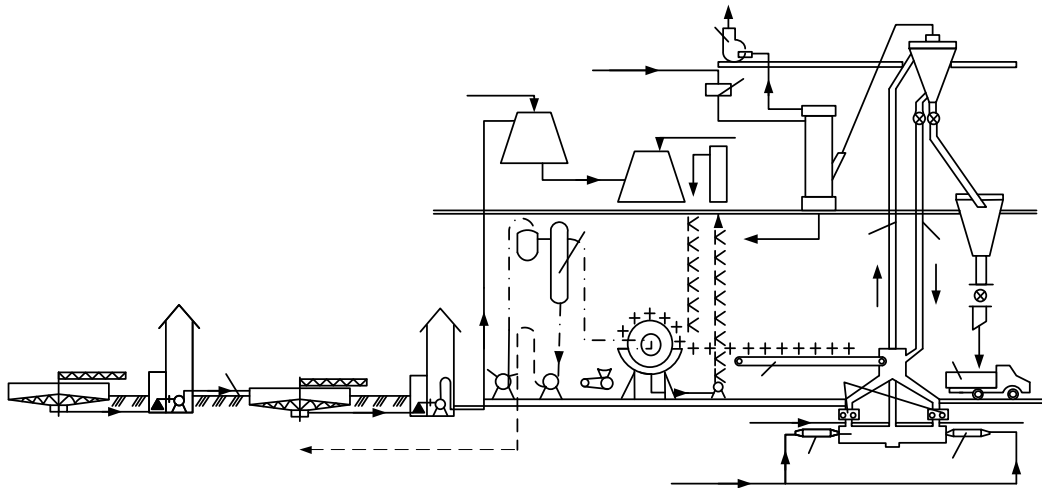


Рис. 7.27 Технологічна схема виробництва сухого добрива: 1 - вторинний відстійник; 2 - мулова насосна станція; 3 - подача активного мулові в ущільнювач; 4 - ущільнювач мулу; 5 - ємність для хлорного заліза; б - ємність для вапна; 7 - вакуум-фільтр, 8 - вакуум-насос, 9 - насос для відкачування фільтрату; 10 - компресор; 11, 12 - ресивери, 13 - ємність для соляної кислоти; 14 - насос для промивки фільтруючої тканини кислотою; 15 - транспортер; 16-19 - сушарка із зустрічними струменями; 20, 22 - подача сухого мулу в продуктивний бункер; 21 - надходження ретурну в приймальну камеру сушарки; 23 - продуктивний бункер; 24 - відвезення продукту; 25 - вода для скрубера; 26 - мокрий скрубер; 27 - вентилятор; 28 - видалення шламу

Тут перед подачею осаду на вакуум-фільтри він перемішується спочатку із хлорним залізом або іншим його коагулянтном у кількості 5-10% від абсолютно сухого осаду, а потім з вапном у кількості 10-20% від сухого осаду. Зневоднення осаду здійснюється на трьох вакуум-фільтрах

FeCl₂

типу БОУ-40-3,4. Продуктивність коливається в межах 17,5–30 кг/м² фільтра за 1 год по сухій речовині. Вологість кека 74,5-80,2%, зольність 38,3-52%.

Після вакуум-фільтрів осад по транспортеру надходить у завантажувальний пристрій сушарки із зустрічними струменями. Тут він змішується із частиною раніше висушеного осаду (ретуром); останній надходить до сушильної камери, де рухаються назустріч один одному топкові гази. У сушильній камері осад подрібнюється і миттєво сушиться при температурі 700-800°C.

Продуктивність сушарки по вологості, що випаровується, – 2,2-3,3 т/год. Питома витрата тепла на 1 кг вологи, що випаровується, 840-975 ккал, а питома витрата повітря – 3,2-4,4 м³.

Після сушарки вологість сухого продукту коливається в межах 35,2-45,5%, а зольність – у межах 41-56%. Готовий продукт автотранспортом відвозиться на поля, які вдобрюються.

7.9.2 Спільне використання ОСВ із ТПВ

В результаті спільної утилізації ОСВ і ТПВ міст або з іншими відходами, придатними для використання. Одержуване при цьому компостне добриво позитивно впливає на структуру ґрунту, поліпшує його фізико-хімічні, біологічні і протиерозійні властивості. Компост успішно застосовується для збагачення виснажених земель, рекультивації ґрунтів, збільшує вологоємність, поліпшує біологічну активність і стійкість рослин до хвороб.

З однієї сторони ОСВ збагачують ТПВ органічними речовинами, з іншого боку – ТПВ підвищують пористість ОСВ, що поліпшує біотермічний процес і якість компосту. Крім того, спільна обробка ОСВ і ТПВ дозволяє скоротити енергетичні витрати, спростити і здешевити процес і технологію одержання добрива.

Виробництво компостного добрива здійснюється в обертових біобарабанних ферментаторах або в штабелях із застосуванням механізації для навантаження, перемішування, подрібнення та інших операцій. Штабеля мають вигляд трапецій із шириною основи 3-4 м, висотою 2-5 м, довжиною 10-25 м і більше. Тривалість процесу розкладання відходів у штабелях залежить від складу суміші, кліматичних умов, системи аерації, умов перемішування і вологості [2,3].

Оптимальна вологість для компостування повинна бути в межах 50–60%. В залежності від зазначених умов біотермічний процес триває від 1 місяця до 1,5 років. При цьому він супроводжується підвищенням температури всередині штабеля до 50–70°C протягом 15–20 діб і зменшенням вологості і об'єму. Перемішування забезпечує більш швидке і повне знешкодження всієї маси, у тому числі і зовнішніх ділянок штабеля, у яких температура прогріву значно нижча. Для прискорення процесу

розкладання і дозрівання компосту до свіжої маси додають частину зрілого компосту. У біобарабанних обертових ферментаторах процес дозрівання компостної суміші в аеробних умовах скорочується до 2-4 діб. Тут допускається завантаження ТПВ без дроблення і сортування. Сюди ж додаються ОСВ. Під час запуску в барабан подається невелика кількість зрілого компосту, що допомагає мікроорганізмам добре адаптуватися і швидше здійснювати процес ферментації.

Біотермічна обробка суміші складається із трьох етапів: на першому етапі проводиться перемішування з подачею повітря, на другому – сортування компосту і на третьому – дозрівання компосту в штабелях. Коефіцієнт виходу компосту по сухій масі приблизно дорівнює 0,7.

Дослідження компостних добрих, одержуваних як у штабелях, так і у ферментаторах, свідчать про загибель яєць гельмінтів і личинок мух.

Біобарабан діаметром 4 м і довжиною 60 м має корисний об'єм 750 м³. Просування суміші в барабані здійснюється за допомогою 188 лопастей. Під кожну лопасть подається повітря від вентилятора. Під час завантаження і вивантаження суміші барабан обертається зі швидкістю 1,15 хв⁻¹, а в робочому режимі – зі швидкістю 0,1 хв⁻¹. Барабан завантажується відходами на 75%, щоденне завантаження і вивантаження становлять 1/3 робочого об'єму барабана. Витрата повітря, що подається в барабан, дорівнює приблизно 0,9 м³/кг суміші за весь час переробки. Через 32 години роботи біобарабану встановлюється температура знешкодження суміші, рівна 55–60°C.

За схемою, наведеною на рис. 7.28, відходи після обробки в біобарабанах передаються транспортерами на сортування в циліндричні сита-грохоти, і потім на склад компосту. Затримані на ситах баластові фракції спалюються, при цьому попередньо з баласту і компосту магнітний сепаратор видаляє чорний метал, який пресується в брикети і відправляється для використання в металургію. Зазначена установка за рік виробляє 40 тис. т компосту і виділяє 1,5 тис. т. чорного металу.

На спільну переробку надходить суміш, що складається за обсягом на 70% із ТПВ і на 30% з механічно зневоднених ОСВ із застосуванням реагентів.

Характеристика відходів, що завантажуються	Для ТПВ	Для ОСВ
Вологість, % загальної маси	42–45	72–77
Органічні речовини, % сухої маси	60–65	42–50
Щільність, т/м ³	0,2	1,0
pH	5,8–6,0	12,0–12,2

Слід зазначити, що малий вміст органічних речовин і більша концентрація водневих іонів характерні для осадів, оброблюваних хімічними реагентами перед механічним зневодненням.

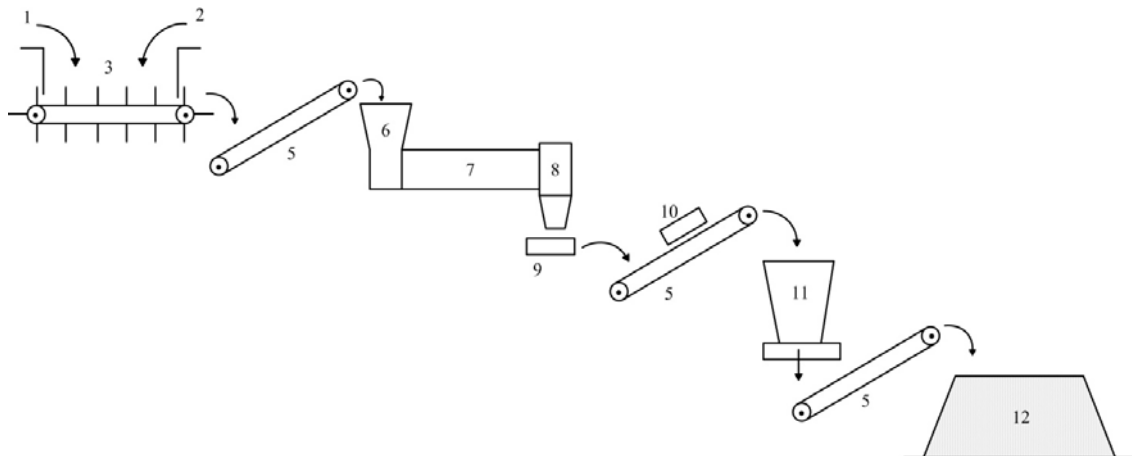


Рис. 7.28 Послідовність технологічної обробки осадів стічних вод і твердих побутових відходів для отримання компостного добрива: 1 - вивантаження твердих побутових відходів; 2 - вивантаження механічно зневодненого осаду стічних вод, 3 - приймальний бункер, 4 - пластинчастий живильник, 5 - стрічковий конвеєр; 6-8 - біобарабани; 9 - циліндричний гуркіт; 10 - електромагнітний сепаратор; 11 - подрібнювач, 12 - склад компосту.

Компост із ОСВ і ТПВ являє собою сипучий матеріал вологістю 50–55% і щільністю 0,67–0,80 т/м³. Вся маса компосту через 15–20 днів прогривається до 50–60°C і температурний режим в штабелі компосту протягом 2 наспуних місяців є стабільним. Хімічний склад та всі інші показники компосту із суміші ОСВ і ТПВ за якістю є кращими, чим показники компосту тільки із одних ТПВ (табл. 7.9).

Таблиця 7.9 Показники компосту із суміші ОСВ і ТПВ у порівнянні із компостом із ТПВ

Вид компосту	рН	Вологість, %	Густина, т/м ³	Органічна речовина % від маси сухої речовини	Вміст елементів, % від маси сухої речовини			
					азоту	фосфору	калію	кальцію
Компост із ТПВ	6,7	47,4	0,62	62,0	1,60	0,32	0,59	2,70
Компост із ОСВ і ТПВ	7,6	54,0	0,79	59,0	1,90	0,58	0,50	6,10

З метою одержання якісного біопалива і компостного добрива визначаються мікроелементи, у тому числі і токсичні елементи, у біотермічній суміші і окремо в ОСВ і ТПВ (табл. 7.10).

Таблиця 7.10 Вміст мікроелементів в осадах, ТПВ і їх компостній суміші, мг/кг сухої речовини

Мікроелементи	Зневоднений осад	Компост		Мікроелементи	Зневоднений осад	Компост	
		із ТПВ	із ТПВ і ОСВ			із ТПВ	із ТПВ і ОСВ
Мідь	1440	186	239	Хром	2837	379	736
Цинк	1257	852	916	Свинець	65	65	65
Нікель	370	141	154	Марганець	417	859	651
Кобальт	4,2	5,8	5,2	Кадмій	4	2,2	4
Залізо	31737	6850	9781				
Магній	3011	4260	3700				

Спільне компостування рідких або ущільнених ОСВ із ТПВ дозволяє утилізувати великотонажні відходи. При цьому більш повно використовуються позитивні якості осадів (органічні речовини, білкові сполуки, вітаміни, амінокислоти), які збагачують ТПВ і поліпшують якість суміші в якості добрива. У той же час виключається не тільки термічне сушіння осадів, але і механічне зневоднення їх, що значно спрощує і здешевлює процес обробки осадів.

На рис. 7.29 наведена можлива технологічна схема спільного компостування рідких або ущільнених ОСВ із ТПВ.

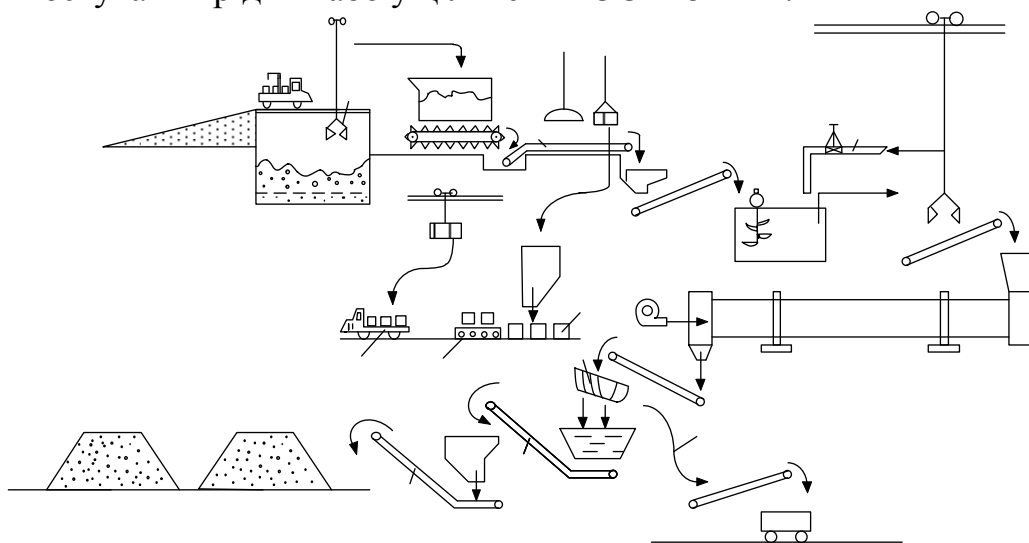


Рис. 7.29 Технологічна схема сумісного компостування рідких (ущільнених) осадів стічних вод з твердими побутовими відходами

На схемі (рис. 7.29) ТПВ до змішання з ОСВ самостійно обробляються, починаючи з бункера накопичувача, куди сміттєвози скидають сміття. Далі ТПВ сортується, звільняючись від чорного металу й некомпостируємих предметів. Після першого здрібнювання ТПВ надходять у бункер-змішувач, куди подаються по трубах ОСВ. Отримана суміш за допомогою грейферного крана й транспортера подається в

завантажувальну камеру обертового біобарабану. Компост із барабана подається по стрічковому транспортеру на віброгуркіт для сортування й виділення баласту. Діаметр отворів верхнього сита-гуркоту – 80 мм, а нижнього – 50 мм. Після гуркоту компост доподрібнюється на шахтному млині, а потім надходить на склад у штабелі для дозрівання, зберігання й видачі споживачеві.

Для прикладу, що підтверджує доцільність спільного компостування рідких ОСВ із ТПВ, узятє місто в 100 тис. чоловік. Місто щодня виділяє 300 м^3 ТПВ з розрахунку 3 л на 1 людину в добу, або 1 м^3 у рік, вологістю 40% і масою близько 200 кг/м^3 . Таким чином, сухі речовини тут становлять 180 т у добу, а зміст води – 120 м^3 .

У результаті повного очищення стічних вод у місті виділяються щодня 250 м^3 ОСВ вологістю 95% з розрахунку 2,5 л на 1 людину в добу, включаючи й деякі домішки промислових стічних вод. Сухі речовини тут становлять 12,5 т у добу, а зміст води – $237,5 \text{ м}^3$.

Отже, при майже рівних обсягах відходів сухі речовини в ТПВ перевищують ОСВ приблизно в 14 раз, а по вмісту води ОСВ в 2 рази перевищують ТПВ.

При повному використанні обсягів ОСВ і ТПВ для спільного компостування вологість суміші складе 65%, що небагато перевищує рекомендовану вологість для компостування. Але якщо ОСВ піддати глибокому ущільненню (до вологості 90%), то об'єм осадів зменшується вдвічі, а середня вологість суміші знижується до 56%, що цілком відповідає нормальним умовам компостування.

Якщо прийняти вміст органічних речовин у ТПВ рівним 56-60%, а в ОСВ – 75-80%, то середній вміст цих речовин у суміші досягне 70%, що перевищить колишній вміст органічних речовин у ТПВ на 10-14%.

Наведений приклад підтверджує економічну доцільність спільного компостування без механічного зневоднення ущільнених ОСВ із ТПВ.

Контрольні запитання

1. Дайте характеристику знешкодження рідких осадів нагріванням.
2. Опишіть технологічні процеси дегельмінтизації зневоднених осадів стічних вод.
3. Опишіть методи біотермічної обробки осадів стічних вод.
4. Дайте характеристику технологічному процесу компостування суміші осадів стічних вод і твердих побутових відходів.
5. Опишіть технологічні процеси термічного сушіння осадів стічних вод.
6. Дайте характеристику технологічному процесу спалювання осадів стічних вод.
7. Опишіть процес термічного знешкодження твердих побутових відходів з утилізацією тепла для обробки осадів стічних вод.
8. Опишіть технологічні процеси утилізація осадів в якості добрив.

8 ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНОГО МУЛУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОРМОВОГО ПРОДУКТУ БЕЛВІТАМІЛА

8.1. Характеристика белвітамілу з активного мулу

У результаті біологічного очищення стічних вод виділяється велика кількість надлишкового активного мулу, що у багатьох випадках може бути використаний як повноцінний кормовий продукт, названий «белвітаміл».

Термін «белвітаміл» найбільш повно характеризує природу продукту як білкового і вітамінного, а також вказує на мулове походження продукту.

Бактеріальна природа активного мулу обумовлює високий зміст у ньому білкових речовин, амінокислот, мікроелементів, вітамінів групи В, у тому числі В₁₂. Такий продукт є високоефективним при годівлі тварин, птахів, риб, хутрових звірів.

Інтенсивний розвиток тваринництва й птахівництва як джерела одержання м'яса, молока, яєць й інших продуктів багато в чому залежить від забезпечення кормів білками, недостатність яких викликає перевитрату кормів, знижує продуктивність і сповільнює ріст тварин.

Як відомо, світова потреба у тваринному білку задовольняється лише на 40%, тому використання для цієї мети активного мулу, що містить до 40-50% білка до абсолютно сухої маси, винятково важлива.

Мікрофлора активного мулу синтезує білкові речовини на три порядки продуктивніше, ніж великі тварини. Так, наприклад, 2 кг біомаси активного мулу (у перерахуванні на суху речовину) за 24 години синтезують 1 кг білка, тобто стільки ж, скільки за цей час виробляють дві корови масою в 1000 кг. Добавка в кормовий раціон тварин і птахів приблизно 1% белвітаміла збільшує вихід м'ясних продуктів на 7-25%, поліпшує смакові якості м'яса, підвищує яйценосність курей до 40%, зменшує витрати кормів на 6-10%. Якщо врахувати, що вартість кормів становить приблизно 70% всіх витрат по виробництву продуктів тваринництва, у тому числі й дефіцитному фуражному зерні, то стане ясным, яке велике державне значення має утилізація активного мулу як кормової добавки.

Бактеріальний і хімічний склад. Бактеріальна природа активного мулу обумовлює високий зміст у ньому білкових речовин, амінокислот, мікроелементів, вітамінів групи В. Загальне число бактерій в 1 м³ об'ємі біофільтра досягає $1 \cdot 10^{12}$, а в 1 м³ об'ємі аеротенка – $2 \cdot 10^{14}$. Основна маса бактерій відноситься до родів: *pseudomonas*, *achomobacter*, *bacillus*, *alkalidenes*, *bacterium*, *micrococcus*, *flavobacterium*. У деяких випадках розвиваються актиноміцети.

Найбільш численною групою, що бере участь в очищенні різних виробничих стоків, є бактерії роду *pseudomonas* (у середньому близько 54%), а потім *mucobacterium* (близько 11%), *bacterium* (близько 9%) і *bacillus* (близько 8%).

Перераховані групи бактерій становлять близько 82% від усього кількості мікробів, що беруть участь в очищенні стічних вод й утворенні активного мулу. Природа активного мулу є загальною навіть при біологічному очищенні різних стічних вод. Це пояснюється енергетичною спільністю процесів біоокислення, спільністю хімічного складу мікрофлори, багаті азотом, життєво важливими амінокислотами, фосфором, кальцієм, вуглеводами.

У табл. 8.1 наведений хімічний склад активного мулу для різних підприємств, міст і для порівняння деяких кормових продуктів. Дані таблиці досить переконливо підтверджують цінність активного мулу як кормового продукту.

Таблиця 8.1 Хімічний склад активного мулу для різних підприємств

Джерела активного мулу і кормові продукти	Протеїн	Жироподібні речовини	Клітковина	БЕВ (без азотисті екстрактивні речовини)	Зольність	Азот
Люблінська станція аерації	34,2	10	–	4,92	32,6	5,46
Кур'янівська станція аерації	40,5	14,4	–	2,7	27,8	6,5
Міські стоки ФРН	32–41	5-12	–	9,1	22–30	5,1–6,6
Стоки Запорізького гідролізного заводу	49,7	1,4	9,5	39,4	15,6	–
Стоки целюлозно-паперових заводів	17–40	2,5-8	21-41	22–59	15-37	2,7–4,7
Стоки заводу ДВП	35,6	–	–	41,3	9,4	5,7
Стоки заводів синтетичних жирних кислот і спирту	24-30	3,7	–	0,8	3	3,9–4,8
Стоки Лисичанського хімкомбінату	46,7	3,8	–	–	16,6	7,5
Кормові дріжді	44,6	0,5	1,5	53,4	8,3	–
Препарат КМБ-12	30,9	0,8	6,6	61,7	38,7	–
М'ясокістна мука	37,2	14,4	–	48,4	32,9	–
Рибна мука	59,4	1,9	–	38,7	25,7	–
Соняшниковий шрот	38,9	2,5	15,2	43,4	6	–

Трав'яна мука	13,1	4,2	23,2	54,5	7,2	–
Горох	21,7	1,5	4,3	72,5	2,6	–
Ячмінь	10,9	5,4	5,2	78,5	3	–

Найбільш повний хімічний склад активного мулу стічних вод Миколаївського ГДЗ наведений в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 Хімічний склад активного мулу стічних вод Миколаївського ГДЗ

Хімічний склад активного мулу Миколаївського ГДЗ	
Загальна вологість, %	10
Органічні речовини, %	68–70
Сирий протеїн, %	44
Чистий білок, %	32–36
Чистий білок без РНК+ДНК, %	28–30
РНК, мг/г	2,5–3,5
ДНК, мг/г	1,5–2,5
Клітковина, %	22
Сирий жир, %	1,6–4,6
БЕВ, %	18
Оксимасляна кислота, мг/г	сліди
Вуглеводні, %	0,5–0,7
3,4 бензопірен, мкг/кг	4–40
Бактеріальна засіяність, тис. мікробів в 1 г	0–53
Зола, %	15–21
Жирні кислоти	13
Вітамін В12, мкг/кг	20
Вітамін В1, мкг/г	9,1
Вітамін В2, мкг/г	–
Гостра токсичність	не токсичний
Кальцій	2 -2 75
Фосфо	3–4,1
Магній	0,9–1,0
Натрій	2,5–2,7
Калій, мг/кг	0,9–1,0
Алюміній, мг/кг	0–2
Марганець, г/кг	2,3–8
Залізо, г/кг	1–3,4
Нікель, г/кг	0,5
Мідь, г/кг	0,06–0,1
Свинець, мг/кг	0,9–18

Стронцій, мг/кг	0–700
Барій, г/кг	0,01
Ванадій, г/кг	0,07
Фтор, мг/кг	1150*
Арсен, мг/кг	–
Хром, мг/кг	0,03
Кадмій, мг/кг	0,9
Ртуть, мг/кг	–

Біологічне значення мінеральних речовин. Мінеральні речовини (макро- і мікроелементи) мають велике значення в загальному обміні речовин, тому що входять до складу всіх клітин і тканин. Мінеральні речовини є важливим структурним матеріалом для костей і зубів. За участю цих речовин в організмі підтримується на певному рівні осмотичний тиск, тиск крові, процеси травлення. При нестачі мінеральних речовин порушуються обмінні процеси в організмі, що веде до зниження продуктивності, енергії, росту, захворюванню тварин.

Для нормальної життєдіяльності тварин і птахів у складі їхнього живлення повинні бути макроелементи: кальцій, фосфор, натрій, калій, сірка, хлор, магній. Не менш важливу роль виконують неорганічні біокаталітичні речовини -: мікроелементи: залізо, мідь, марганець, цинк, кобальт, йод. Вони необхідні для повноцінного використання таких важливих живильних речовин, як протеїн, вуглеводи, жири. Мікроелементи тісно пов'язані з вітамінами, гормонами, вони необхідні для процесів тканинного дихання, інтенсивно впливають на ріст, відтворення, продуктивність, фізіологічні функції.

Значна частина потреб тварин у мінеральних речовинах покривається за рахунок солей, що втримуються в кормах гарної якості. З урахуванням сучасних умов вмісту й годівлі тварин і птахів все більшого значення набувають комплексні добавки, отримані мікробіальним синтезом або шляхом готування білково-вітамінних добавок - преміксів.

У табл. 8.3 приводиться порівняльний склад мінеральних речовин деяких кормів різного походження. З таблиці видно що сухий активний мул із Запорізького ГДЗ як продукт мікробіального синтезу є багатим джерелом макро- і мікроелементів. По вмісту кальцію, магнію, фосфору, заліза, цинку, марганцю, міді цей продукт перевершує всі корми навіть тваринного походження [10-16].

Таблиця 8.3 Середній вміст мінеральних речовин в активному мулі у порівнянні із іншими кормами

Кормовий продукт	Мікроелементи, г/кг сухої речовини				
	кальцій	магній	фосфор	калій	натрій

Активний мул Запорізького ГДЗ	11,7–66	4,3–39	20,5– 35,7	5,7–10,6	2,6–6,7	
Активний мул целюлозно-паперових комбінатів	11–21,6	–	4,8–11,7	0,2–4,2	0,5–3,0	
Кормові дріжді (гідролізні)	4,3	2,1	16	25,3	1,1	
М'ясокісна мука	48,7	2,8	26,6	8,4	20,3	
Рибна мука	42,7	2,7	25,7	9,1	7,3	
Соняшниковий шрот	4,3	4,5	10	10,6	0,6	
Трав'яна мука	11,3	3,6	2,7	13,4	2,2	
Горох	1,2	1,7	4,7	13,2	0,1	
Ячмінь	0,8	1,5	4,2	5,9	0,2	
Кормовий продукт	Мікроелементи, мг/кг сухої речовини					
	залізо	цинк	марганець	мідь	кобальт	йод
Активний мул Запорізького ГДЗ	13000–16000	217–620	59–220	200–360	5,2–19,0	0,88
Активний мул целюлозно-паперових комбінатів	4300–7000	280-300	300–600	140–160	–	–
Кормові дріжді (гідролізні)	320	212	33	17,5	1200	0,4
М'ясокісна мука	1499	123	34	10	400	–
Рибна мука	928	92	17	7	78	–
Соняшниковий шрот	360	46	57	28	238	0,76
Трав'яна мука	146	77	62	5,8	260	–
Горох	85	12	12	6,4	94	0,15
Ячмінь	103	35	21	3,7	26	0,35

8.2 Ефективність використання белвітамілу як кормової добавки для тварин

Активний мул у раціонах птахів. Безперервне збільшення виробництва пташиного м'яса пов'язане з підвищенням поголів'я птахів і природно, вимагає збільшення повноцінних кормів. До таких кормів (кормових добавок), відноситься активний мул, застосування якого забезпечує високий рівень продуктивності при значному зниженні витрат кормів і собівартості продукції.

Добавка активного мулу не тільки збільшує приріст курчат і їх масу на 4%, але й знижує витрати на корми в середньому на 6%. Смакові якості м'яса курчат вищі, ніж у курчат контрольної групи. При цьому відзначається збільшення яйценосності молодих курок-несучок, що одержували активний мул міських станцій аерації, до 46% у порівнянні з яйценосністю курей контрольної групи. Аналогічні підвищення продуктивності спостерігаються і у водоплавної птиці. Зокрема, у каченят при додаванні у раціон близько 1% активного мулу, забійний вихід м'яса

збільшується на 2,1%, а витрата кормових продуктів – зменшується на 8,6–13,4%, при цьому живильна цінність м'яса стає вищою за рахунок збільшення сухої речовини й білка, зниження відсотка вологи й жиру.

Активний мул у раціонах свиней. Додаток 1 % сухого активного мулу в раціон свиней поліпшує склад їхньої крові за гемоглобіном. Вміст загального білка в сироватці крові свиней підвищується на 6-14,5%, забійний вихід м'яса збільшується на 7- 25%, а сала зменшується на 1,7-3,4%.

Збільшення ж дози мулу гідролітичних заводів до 2 й 3% у раціоні підсвинків пригальмувало їхній ріст і знижує апетит. Тому, для вирощування свиней найбільш доцільним є введення в рослинні раціони не більше 1 % активного мулу.

Активний мул у раціонах телят. При вирощуванні телят доводиться використовувати повноцінні і дорогі тваринні корми, такі як м'ясокістне, рибне, кров'яне борошно. Однак, при використанні у раціоні телят 50% протеїну із активного мулу, інтенсивність росту телят, що одержували активний мул, у порівнянні з ростом телят контрольної групи збільшується на 12,7%. Жива маса кожного теляти в середньому на 2 кг вища, чим маса телят контрольної групи.

Активний мул у раціонах хутрових звірів. Досить ефективними є використання сухого активного мулу в раціон норок.

Встановлений приріст щенят і зменшення їх смертності. Підгодівля мулом позитивно позначається на розмірах і сортності шкурки.

Активний мул у раціонах риб. Додаток в раціон форелі 1 % активного мулу збільшує її масу на 9–32%.

Додаток активного мулу при дозі 2% (головним чином розраховуючи на вітамін В₁₂) збільшує приріст маси 2-літнього коропа на 23% у порівнянні з контрольною групою. Більше збільшення дози мулу (5-10%) зменшують приріст маси риб. У 2-літніх коропів, що одержують мул, не було жодного випадку захворювання або загибелі. Оптимальною додатком активного мулу до основного раціону є доза 0,5-1%, при якій приріст маси риб збільшується на 24% у порівнянні з приростом у риб контрольної групи.

Отже, активний мул доцільно використовувати в якості кормової додатки. Виробництво белвітаміла повинно здійснюватися за умови «м'якого» режиму обробки, що виключає додатку хімічних реагентів і сушіння при високих температурах.

8.3 Кормові дріжджі і белвітаміл

За останні 25-30 років у раціонах годівлі тварин і птахів все більшого значення набувають кормові дріжджі, вироблювані гідролітичними

й целюлозно-паперовими підприємствами з рослинних матеріалів і рідких відходів (лугів), одержуваних при варінні деревини.

При сучасній технології з 1 т абсолютно сухої рослинної сировини (тирса, тріска, лузга з насіння і рису, кукурудзяний качан, відходи соняшника та ін.) одержують до 250 кг товарних білкових кормових дріжджів. Це повноцінна білкова добавка до кормів, що підвищує біологічну цінність інших кормів за рахунок білків і вітамінів групи В і незамінних амінокислот.

Багаторічний досвід відгодівлі свиней показує, що добавка дріжджів у кормовий раціон (6-10% від сухої маси загального кормового раціону) підвищує приріст ваги тварин на 15- 20% і знижує витрату кормів на 10% і більше. Добавка дріжджів у раціон молочної худоби підвищує надої молока на 3- 3,5 л/добу, а жирність на 0,4-0,6%. Особливо добре позначається добавка дріжджів у раціон курей і курчат при клітинному їх вмісті в кількості 4-5% від загальної маси корму. Це збільшує приріст ваги курячого м'яса додатково на 2-2,5 кг при витраті 1 кг дріжджів. Яйценосність курок-несучок збільшується на 21-40%, а захворюваність птахів знижується.

Поряд з використанням кормових дріжджів, одержуваних з рослинних відходів, великого значення набуває використання в якості кормової добавки белвітаміла, одержуваного в результаті біологічного очищення стоків аеробними бактеріями.

У порівнянні з кормовими дріжджами, де білок становить 40–50% від сухої маси, белвітаміл містить трохи менше білка – 30–40%, але зате містить найцінніший вітамін В₁₂ (до 10–25 мг/кг сухого мулу). Присутність у кормах необхідної кількості В₁₂ підвищує не тільки повноцінність кормового раціону, але й ефективність використання рослинного протеїну. Вітамін В₁₂ стимулює й регулює процес кровотворення, забезпечує білковий обмін й обмін вуглеводів, прискорює приріст живої маси. Все це дозволяє активному мулу при менших дозах добавки до раціону (0,5-3%) домагатися практично тих же результатів, що й при добавках кормових дріжджів.

Серед багатьох кормових продуктів, використаних у тваринництві й птахівництві, жоден з них не може вважатися повноцінним, якщо не містить у достатній кількості білка й вітамінів. Навіть такі дорогі корми (багаті вуглеводами), як цукровий буряк і кукурудза, які дають максимальну кількість кормових одиниць із 1 га, через недолік азотистих речовин можуть бути ефективно використані тільки при добавці таких найцінніших компонентів живлення, як білок, вітаміни, мінеральні речовини. Питомий вміст в 1 кг кормів перетравлюваного білка (г) представлено в таблиці 8.4:

Таблиці 8.4 Питомий вміст в 1 кг кормів перетравлюваного білка (г).

Найменування кормів	Вміст вітамінів, г/кг
Житня солома	4
Кормовий буряк	3
Силос із кукурудзи	6
Овес і зерновий фураж з жита і пшениці	77–100
Кормові дріжді	380–480
Белвітаміл	300–400

Отже, 1 т кормових дріжджів заміняє 3,5–4,5 т дефіцитного фуражного зерна, а 1 т белвітаміла заміняє 3–4 т фуражного зерна. Але якщо врахувати наявність B_{12} в активному мулі, що забезпечує кращу засвоюваність продуктів живлення й заощаджує загальну витрату кормів, то можна вважати, що ефект від добавки белвітаміла буде не менше, ніж від добавки кормових дріжджів. Отже, белвітаміл, що містить всі основні живильні речовини, може бути не тільки повноцінною кормовою добавкою, але й продуктом, що частково заміняє фуражне зерно.

Для порівняння кормових дріжджів з активним мулом у табл. 8.5 наведені дані по вмісту вітамінів групи В. Ці дані досить близькі між собою, за винятком вітаміну B_{12} . Останній в активному мулі втримується в сотні разів більше, ніж у кормових дріжджах.

Таблиця 8.5 Вміст вітамінів групи В в активному мулі і кормових дріжджах

Вітаміни групи В	Вміст вітамінів, мг/кг сухої речовини		Вітаміни групи В	Вміст вітамінів, мг/кг сухої речовини	
	в активному мулі виробничих стоків	в кормових дріжджах		в активному мулі виробничих стоків	в кормових дріжджах
Тіамін B_1	20	15–33	Піридоксин B_6	15	19–40
Рибофлавін B_2	19	54–68	Біотин B_7	2	2–3
Пантотенова кислота B_3	87	40–130	М-Інозит B_8	750	3400–5000
Холин B_4	428	до 2600	Фолева кислота	3	4
Нікотинова кислота B_5	253	360–550	B_9, B_{10}, B_{11} Кобаламін B_{12}	10–20	0,08

8.4 Технологічні схеми виробництва белвітаміла

Технологічна схема одержання белвітаміла із двоступінчастим ущільненням активного мулу в сепараторах і наступному термічному сушінні в розпилювальній сушарці зображена на (рис. 8.1). При

двоступінчастій сепарації на першому щаблі досягається ущільнення мулу до вологості 97,5% (по зважених речовинах), а на другому - до 96%. При такій концентрації забезпечується нормальна робота розпилювальної сушарки й відносно мінімальні втрати сухих речовин.

На рис. 16 надлишковий активний мул із вторинних відстійників з вологістю 99,5-99% перекачується в ємність, звідки насосом передається спочатку на перший щабель сепарації, а потім у другий. Після двоступінчатої сепарації згущений мул перекачується в розпилювальну сушарку. З метою зменшення втрат сухих речовин від сепараторів другого щабля, цей фугат з концентрацією 3-10 г/л по трубопроводу надходить у резервуар вихідного мулу. Менш концентрований фугат після першого щабля сепарації направляється на очисні споруди.

У розпилювальній сушарці мул миттєво висушується до вологості 5–10% і по пневмопроводу транспортується в циклон, потім у продуктивний бункер і через живильну воронку – на пакувальну машину. Звідси готовий продукт відправляється на склад і до споживачів. Відпрацьований теплоносій з температурою 90–80°C із сушарки разом із частиною продукту надходить в очисні циклони. Сюди ж вентилятором подається пилоподібний продукт. Затримані частки продукту надходять у пневмопровід, а очищені від продуктового пилу газу відсмоктуються іншим вентилятором і викидаються в атмосферу.

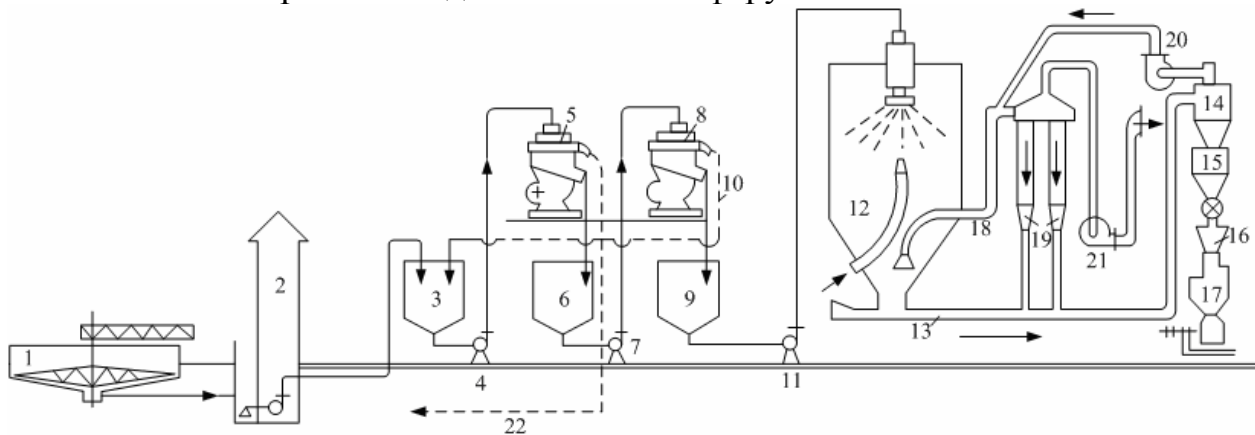


Рис. 8.1 Технологічна схема отримання белвітаміна з двохступінчастим ущільненням активного мулу на сепараторах і наступною термічною сушкою на розпилювальній сушарці: 1 – вторинний відстійник; 2 – насосна установка; 3,6,8,9 – ємності; 4,7,11 – насоси; 5 – сепаратор I ступеню; 6 – сепаратор II ступеню; 10 – трубопровід відводу фугату; 12 – розпилювальна сушарка; 13 – пневмопровід; 14 – циклон; 15 – продуктивний бункер; 16 – живильна воронка; 17 – пакувальна машина; 18 – теплоносій; 19 – очищувальні циклони; 20,21 – вентилятори; 22 – трубопровід відводу фугату на очисні споруди.

Наведена технологічна схема проста й надійна в експлуатації. Вона виключає необхідність дорогого й складного устаткування по механічному

зневоднюванню активного мулу з хімічною його обробкою і дозволяє одержувати сухий продукт вологістю 5-10%. Температурний режим сушіння забезпечує збереження білків і вітамінів. Важливою перевагою схеми є можливість використання вітчизняного устаткування, що використовується в гідролізній промисловості та інших галузях.

Зокрема, розпилувальні сушарки широко застосовуються в гідролізній промисловості для сушіння кормових дріжджів. Вони успішно застосовуються також для сушіння сепарованого молока, вітамінів, крові, барвників і багатьох інших матеріалів.

Велика перевага цих сушарок полягає в тім, що вони не мають потреби в попередньому механічному зневоднюванні активного мулу й можуть надійно працювати при підвищенні концентрації мулу лише способами ущільнення.

Температура теплоносія приблизно дорівнює 300–250°C, а при контакті з мулом у сушарці не перевищує 150°C. На виході температура вихідних газів знижується до 90-75°C. При зазначеному температурному режимі сушіння білково-вітамінна цінність продукту зберігається.

Сушарка складається із циліндричного корпусу, що переходить у конус. Ущільнений мул надходить у розпилувальний пристрій, що являє собою турбінку або диск із бічними отворами, що обертаються на валу зі швидкістю 10000–15000 хв⁻¹. При такому розпиленні мулу утворена дрібнодисперсна хмара миттєво сушиться в потоці гарячого повітря. Підігріте повітря або газ надходить із калорифера або топлення. Для спалювання газу в топлення вентилятором подається повітря, причому зниження температури до 250–300°C здійснює камера змішування. Теплоносій надходить у сушарку по газопроводу через розподільну головку. Для запобігання осідання висушеного мулу на конусній частині сушильної камери встановлені чотири електромагнітних вібратори, що робить удари через 30-60 с.

Напруженість сушильної камери яка випаровує вологу, що, коливається в межах 2,5–11,3 кг/м³ за 1 год. Встановлені сушарки на гідролізних заводах мають продуктивність випаровування вологи 4-10 т/год. При збільшенні температури теплоносія ця продуктивність може бути збільшена в 1,3-1,5 рази.

Технологічна схема одержання белвітаміла із двоступінчастим ущільненням активного мулу в термогравітаційному ущільнювачі і сепараторі та наступному термічному сушінні в розпилувальній сушарці зображена на рис. 8.2. По даній схемі виробництво белвітаміла досягається більш глибоким ущільнення мулу, кращими умовами для сепарації на другому щаблі ущільнення, меншими втратами сухих речовин.

Технологічна схема, наведена на рис. 8.2, передбачає надходження надлишкового активного мулу із вторинного відстійника на мулову насосну станцію. Звідки мул перекачується в термоущільнювач, а потім у

сепаратор. Після двоступінчастого ущільнення мул з концентрацією 45-55 г/л (вологість 95,5-94,5%) подається в распилювальну сушарку, де він перетворюється в готовий кормовий продукт. Дана схема дозволяє заощадити до 50% тепла. Після теплообмінника мулова вода використовується як біостимулятор у дріжжерослинних котлах або повертається на очисні споруди.

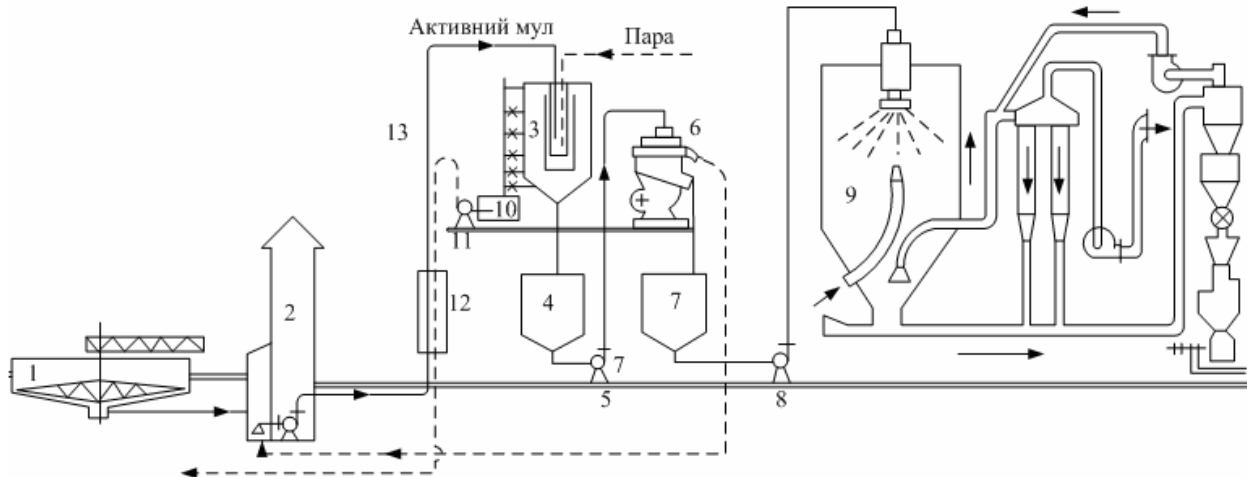


Рис 8.2 Технологічна схема отримання белвітаміна з двохступінчастим ущільненням активного мулу на термогравітаційному ущільнювачі і сепараторі з наступною сушкою на распилювальній сушарці: 1 – вторинний відстійник; 2 – мулова насосна установка; 3 – термогравітаційний ущільнювач; 4, 7 – ємкості для згущеного мулу; 5, 8 – насоси; 6 – сепаратор; 9 – распилювальна сушарка; 10 – резервуар для гарячої мулової води; 11 – насос; 12 – теплообмінник; 13 – активний мул.

Схема виробництва белвітаміла з ущільненням активного мулу в термогравітаційному і термофлотаційному ущільнювачі з наступним термічним сушінням представлена на (рис. 8.3). Перевагою даної схеми є її простота й ефективність ущільнення. Один апарат дозволяє досягнути ефекту ущільнення лише після двоступінчастого згущення мулу. На схемі активний мул із вторинного відстійника згущується з вологості 99,5-99% до вологості 95-94% і менше, після чого передається на термічне сушіння.

На рис. 8.4 наведена технологічна схема виробництва белвітаміла із флотаційним ущільненням активного мулу до концентрації 30–40 г/л з наступним термічним сушінням. Надлишковий активний мул вторинного відстійника надходить на мулову насосну станцію, звідки перекачується у флотаційний ущільнювач по розподільному трубопроводі. Сюди ж надходить робоча рідина (стічна вода, насичена розрахунковою кількістю повітря), проходячи при цьому вузол з ежектором і напірний бак з рециркуляцією рідини. Ущільнений активний мул спіральним шкребком зрушується в периферійний лоток, звідки попадає в збірний резервуар, а потім у плазмолізатор, де підігрівається до температури 70–90 °С. Після плазмолізатора мул з меншою в'язкістю й більшою плинністю надходить у

распилювальну сушарку, перетворюючись у сухий кормовий продукт вологістю 10%.

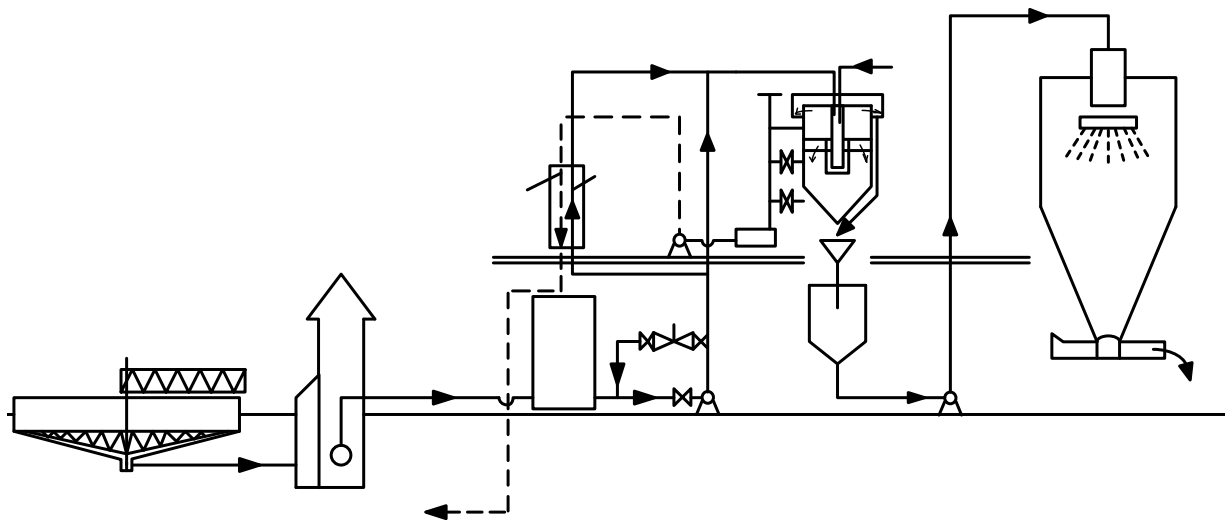


Рис. 8.3 Технологічна схема виробництва белвітаміла з ущільненням активного мулу на термогравітаційному й термофлотаційному ущільнювачі з подальшою термічною сушкою: 1 - вторинний відстійник; 2 - мулова насосна станція, 3 - збірний резервуар, 4 - насос, 5 - вузол з ежектором; 6 - термогравітаційний і термофлотаційний ущільнювач; 7 - ємність ущільненого мулові; 8 - насос, 9 - Розпилююча сушарка; 10 - кормовий продукт; 11 - зливна труба; 12 - збірка гарячої мулової води; 13 - насос; 14, 15 - теплообмінник для попереднього нагрівання мулові; 16 - відвід мулової води на ОС.

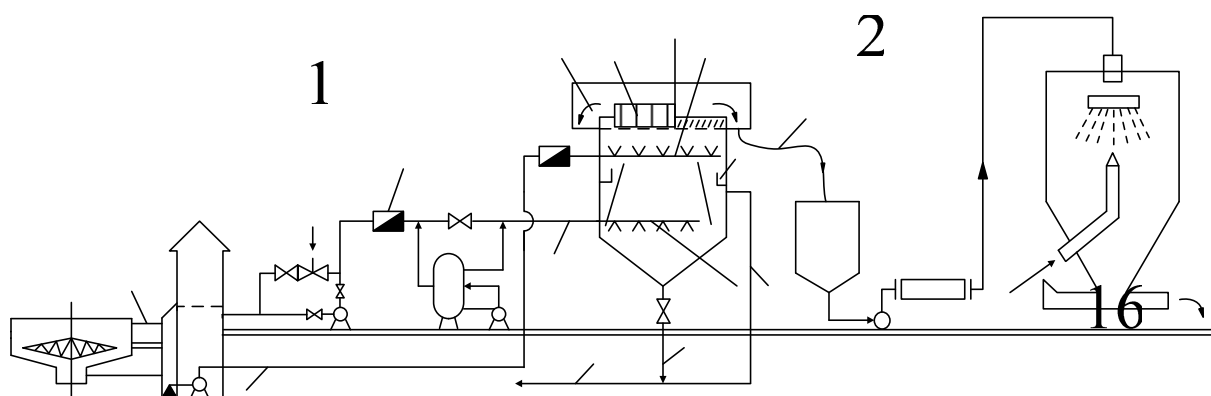


Рис. 8.4 Технологічна схема виробництва белтавіміла з флотаційним ущільненням і термічною сушкою: 1 - вторинний відстійник; 2 - мулова насосна станція, 3 - флотаційний ущільнювач, 4 - розподільний мулової трубопровід, 5 - витратомір, 6 - розподільний трубопровід робочої рідини; 7 - надходження води-8 - вузол з ежектором; 9 - насос; 10 - витратомір; 11 - напірний бак, 12 - рециркуляційний насос, 13 - шкребок для збору мул-14-лоток для збору ущільненого мулові; 15 - труба, що відводить мул; 16 - збірка мулові; 17 - гвинтовий насос; 18 - плазмолізатор; 19 - розпилююча сушарка, 20, 21 - відвід мулової води на ОС; 22 - спорожнення флотатора

При співвідношенні обсягів робочої рідини й активного мулу 2:1 й 3:1 досягається мінімальний вміст зважених домішок в муловій воді й більш високий ефект ущільнення.

Насичення робочої рідини повітрям здійснюється водоповітряним ежектором при тиску в напірній лінії 0,2–0,4 МПа. Додаткове змішування повітря з робочою рідиною й розчинення його в ній відбувається в напірному баці за допомогою циркуляційного насоса. Об'єм напірного бака розрахований на 4–8-хвилинне перебування робочої рідини. Кількість подаваного повітря дорівнює 50–80 л на 1 м³ робочої рідини. Швидкість витікання рідини з дірчастих отворів 1,8–2,3 м/с, а активного мулу - 0,7–1 м/с. Час перебування сумарних об'ємів робочої рідини й активного мулу у флотаторі 0,7–1 год. Нагромадження і ущільнення мулу відбувається протягом 2–4 годин. Для збереження плинності мулу вологість останнього повинна бути не менш 94–95%.

Застосування флотаційних мулоущільнювачів викликає ускладнення, пов'язані із транспортуванням щільної малорухомої пінистої маси. Із круглого флотатора масу видаляють шкребком, що, поринає в мул на 10–15 см, пересуває пінисту масу від центра в периферійний лоток, звідки вона видаляється в збірний резервуар і далі за схемою, наведеною на рис. 8.4.

На рис. 8.5 наведена схема одержання гранульованого белвітаміла: інтенсивне ущільнення на термогравітаційному і термофлотаційному ущільнювачі, безреагентне механічне зневоднення, гранулювання мулу й термічне сушіння.

На схемі надлишковий активний мул із вторинного відстійника перекачується в термогравітаційний і термофлотаційний мулоущільнювач, де за допомогою пари й вузла з ежектором може ущільнитися до вологості 94–93%. Після ущільнення згущений мул подається на центрифугу, куди також надходить ретур для зневоднювання. Ретур складається із продуктового пилу, виділеного в циклоні й переданого вентилятором зі збірника. Додаток ретура дозволяє домогтися необхідного зневоднювання, необхідного для гранулювання, без додавання реагентів. Після грануляції й термічного сушіння в барабанній сушарці продукт надходить у камеру вивантаження, де затарюється в мішки і відвозиться на склад. Із циклону газу, що відходять, відсмоктуються димовим вентилятором і викидаються через трубу в атмосферу.

Технологічна схема виробництва белвітаміла зі згущенням активного мулу на площадках граничного ущільнення із термічним сушінням представлена на (рис. 8.6). За даною схемою надлишковий активний мул після вторинних відстійників перекачується на площадки граничного ущільнення, де протягом 8–12 годин згущується до вологості 90%. Продуктивність такої площадки 1 м³ на 1 м² за добу. При

необхідності на площадках може згущатися мул після відстійників-ущільнювачів.

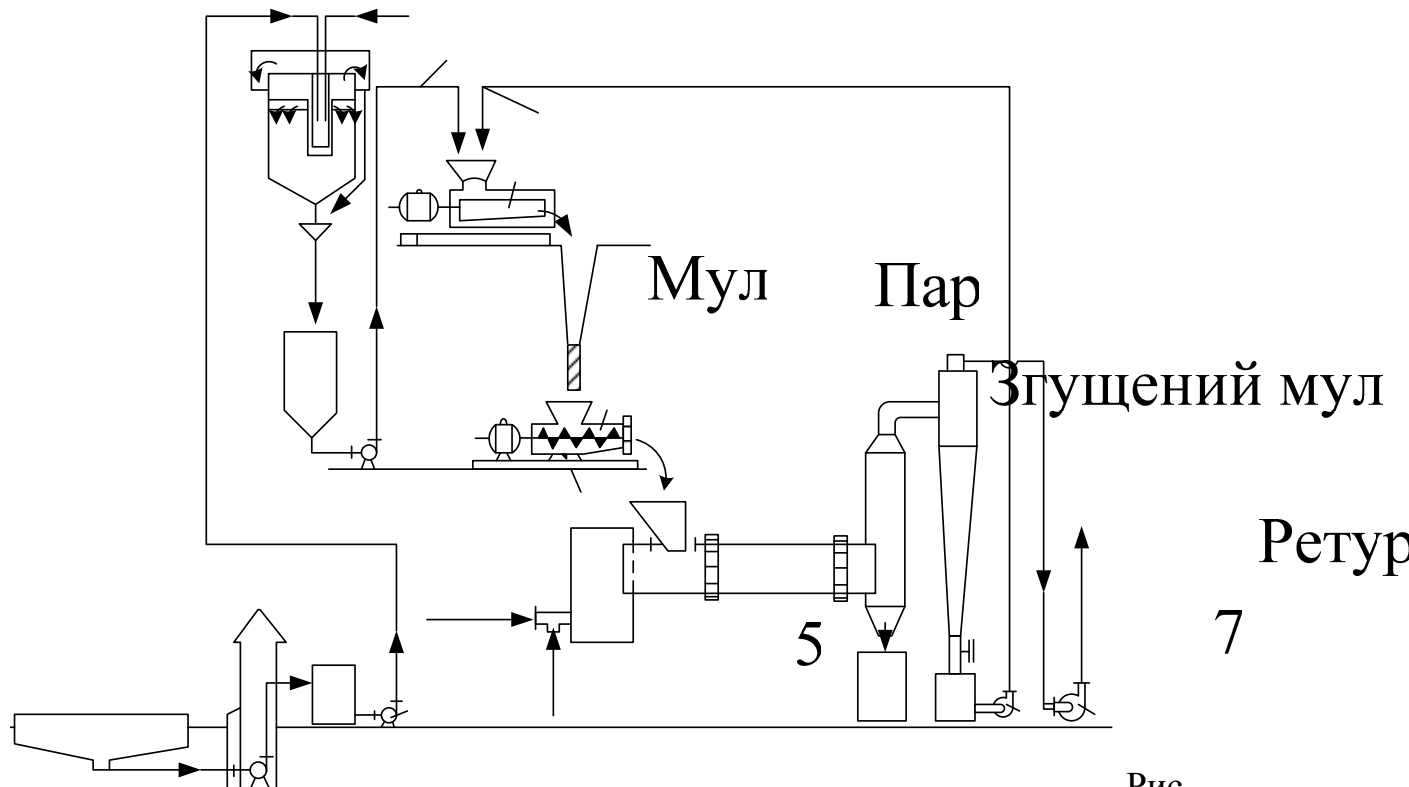
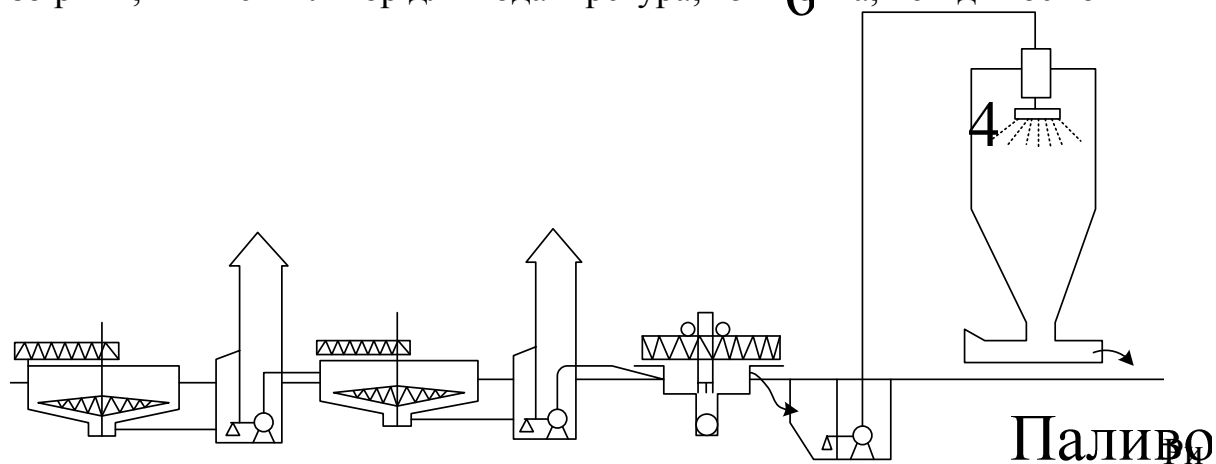


Рис.

8.5 Технологічна схема виробництва гранульованого белвітаміла: 1 - вторинний відстійник; 2 - мулова насосна станція, 3 - ємність, 4 - насос; 5 - термогравітаційний і термофлотаційний ущільнювач; 6 - ємність; 7 - центрифуга, 8 - гранулятор; 9 - барабанна сушарка, 10 - камера вивантаження; 11 - машина для заварювання продукту; 12 - циклон, 13 - збірник; 14 - вентилятор для подачі ретура; 15 - тупка; 16 - димосмок



с. 8.6 Технологічна схема отримання белвітаміла зі згущенням активного мулу на майданчиках граничного ущільнення й з термічним сушінням: 1 - вторинний відстійник; 2 - насосна мулова станція 3 - відстійник-ущільнювач, 4 - майданчик граничного ущільнення; 5 - збірний резервуар; 6 - насосна установка, 7 - розпилююча сушарка, 8 - готовий продукт.

1

Повітря

15

Ущільнений на площадках мул згрібається механічною лопатою, змонтованою на пересувній фермі, у бункер, звідки насоси перекачують ущільнений мул у розпилювальну сушарку, потім готовий сухий продукт вологістю 5-10% затарюється у паперові мішки і відправляється на склад і до споживачів.

На рис. 8.7 наведена технологічна схема отримання белвітаміла на Миколаївському ГДЗ.

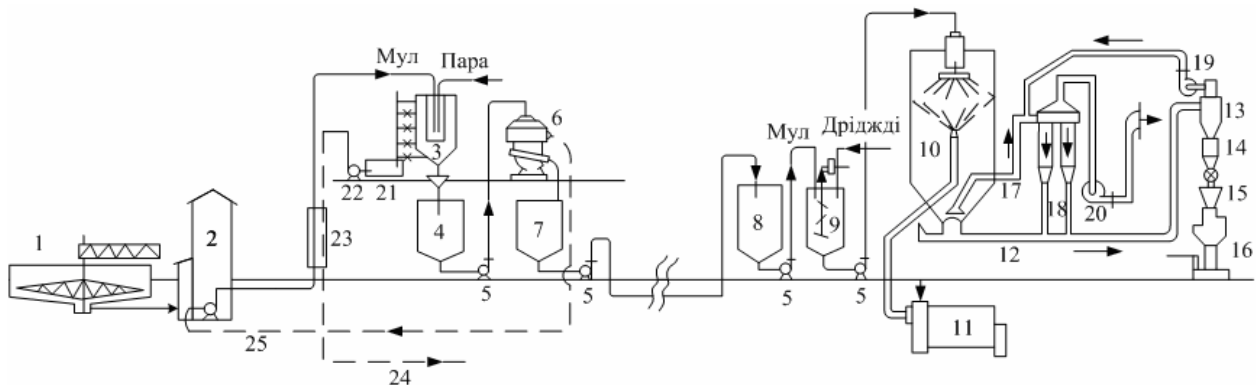


Рис 8.7 Технологічна схема виробництва суміші кормових дріжджів з активним мулом на Миколаївському гідролізно-дріжджовому заводі: 1 – вторинний відстійник; 2 – мулова насосна станція; 3 – флотаційний ущільнювач; 4 – розподільчий муловий трубопровід; 5 – витратомір; 6 – розподільчий трубопровід робочої рідини; 7 – надходження води; 8 – ежектор; 9 – насос; 10 – витратомір; 11 – напірний бак; 12 – рециркуляційний насос; 13 – скребок для збору мулу; 14 – лоток для збору ущільненого мулу; 15 – відвідна труба мулу; 16 – збірник мулу; 17 – винтовий насос; 18 – плазмолізатор; 19 – розпилювальна сушарка; 20, 21 – відвід мулової води очисну станцію (ОС); 22 – спорожнення флотатора.

Надлишковий активний мул із вторинних відстійників надходить на мулову насосну станцію, звідки перекачується в термогравітаційний ущільнювач для первинного ущільнення. З термоущільнювача мул потрапляє на сепаратор для вторинного ущільнення.

Згущений мул перекачується у дріжджовий цех, у збірну ємність, а потім у резервуар-змішувач. Зі змішувача розрахункова кількість мулу й концентрованих дріжджів перекачується в розпилювальну сушарку, де під дією гарячих газів, що подаються з топки, миттєво сушиться до вологості 5-10%, перетворюючись у готову кормову суміш.

8.5 Одержання корисних продуктів з осадів стічних вод та інших відходів методом піролізу

Піроліз, або суха перегонка, являє собою процес термічної переробки осадів або інших вуглевмісних відходів шляхом

високотемпературного нагрівання без доступу повітря. У результаті такої переробки осадів одержують близько 50% твердих залишків (вугілля, напівкокс, або пірокарбон), приблизно 25% рідких продуктів (смола або первинний дьоготь) і 12-15% суміші газоподібних продуктів. Найціннішими продуктами піролізу є пірокарбон і смола, або дьоготь. При сучасних технологічних розробках вони є цільовими продуктами або напівпродуктами для подальшої хімічної переробки.

Виробництво вуглевмісних матеріалів з осадів стічних вод має особливо важливе значення у зв'язку з гострою нестачею вуглеводневої сировини взагалі. Вуглець як хімічний елемент представляє найважливішу складову частину всіх органічних речовин у природі. Утилізація осадів стічних вод шляхом піролізної переробки відкриває нові можливості перспективного використання всіх осадів, особливо в тих випадках, коли по вмісту токсичних або інших шкідливих речовин не можливо їх використати як добриво або кормовий продукт.

Результати дослідів, проведених при температурі перегонки 450°C наведені в табл. 8.6. Для порівняння з осадами в таблиці наведені літературні дані по піролізу інших видів твердого палива. З таблиці видно, що найбільш високі показники виходу первинного дьогтю, що є основою для одержання ряду цінних речовин, є у сирих первинних осадах й активного мулу. Зброджений осад з метантенків містить первинного дьогтю майже в 2 рази менше.

Таблиця 8.6 Результати дослідів по піролізу ОСВ, % при (t = 450°C)

Вихідний матеріал	Напівкокс	Первинний дьоготь	Газоподібні продукти + втрати по масі	Вода розкладання
Первинний осад (сирий)	46,5	26,3	12+2,9	12,3
Активний мул	47,4	24,85	10+2,55	15,2
Зброджений осад із метантенків	55,7	15,3	12+3	14
Первинний осад (сирий) після мулових площадок	48,2	26,35	12,4+0,05	13
Буре вугілля	69,8	4	18,6	7,6
Вуглистий сланець	71,2	2,5	6,7	4,7
Вугілля антрацит	64,1	14,2	8	6,9
Озерний сапропель	57	12,3	12	18,7
Торф	41-47	11,8-25,9	17-18,7	11,8-26,4

Результати роботи, виконані в пірогенній лабораторії [2], зведені в табл. 8.7. З таблиці видно, що кількісні показники піролізу близькі до

результатів наведених в таблиці 8.6. Загальна тривалість піролізу при температурі до 450°C коливалася від 5 до 6 годин. При максимальній температурі 480–500°C піроліз триває 1,5–2 години.

Таблиця 8.7 Результати піролізу осадів, % при (t = 500°C)

Найменування осаду	Напівкокс	Первинний дьоготь	Газоподібні продукти	Вода розкладання	Втрати
Сирий первинний осад після мулових площадок	Від 44,7 до 43,5	Від 15,1 до 21,5	Від 11,3 до 11,5	Від 15,5 до 16,5	Від 13,4 до 7,3
Зброджений первинний осад після мулових площадок	Від 46 до 49	Від 7,3 до 14,5	Від 8,9 до 9,5	Від 10,3 до 10,8	Від 27,5 до 16,2

Після піролізу в реторті залишається напівкокс, що представляє собою чорну масу, що легко розсипається в порошок. Вміст зольності тут й органічної маси приблизно однаковий. Напівкокс, або пірокарбон, широко використовується в промисловості. Його можна утилізувати як паливо, а також використати в процесі одержання азоту й фосфору.

Найбільший інтерес представляє утворений при піролізі первинний дьоготь із питомою масою 0,95, що при фракційному розгоні може дати такі корисні продукти, як парафіни, асфальтени, карбонові кислоти, феноли, коксовий пил, органічні основи.

Кількість газоподібних продуктів при піролізі осадів становить 9-11,5% до абсолютно сухих речовин і близько 17- 20% - до органічних речовин. Склад газових виділень характерний для природи вихідних речовин. Сюди відносяться: сірководень, вуглекислота, неграничні вуглеводні, окис вуглецю, водень, метан, етан, азот.

У загальному складі газу осадів міститься близько 68% горючих активних частин. У цьому складі превалюють сірководень і вуглекислота (59-62%), тому не дивно, що запах газу дуже специфічний і досить неприємний. Стосовно повітря густина газу в середньому дорівнює 1,15-1,13.

За даними [2-5], піроліз 100 т сухого сирого первинного осаду за добу може дати орієнтовно наступну кількість продуктів (т):

Напівкокса	45
Первинного дьогтю	20
Газоподібних продуктів	11,5
Води розкладання	15
Загальні втрати	8,5

Після відповідної обробки первинного дьогтю орієнтовно можна одержати наступні продукти (т) з 100 т сухих осадів за добу:

Воску	2
Асфальтенів	3
Піридинових основ	0,8
Фенолів	0,25
Бензину	3
Гасу	7
Гудрону (кислого)	2
Пеку	1,5

Найбільший вихід первинного дьогтю виходить із сирого осаду, затримованого первинними відстійниками.

8.6 Технологічні схеми піролізу осадів

На рис. 8.8 наведена технологічна схема піроліза - 125 т за добу сухих осадів стічних вод з одержанням пірокарбону, первинного дьогтю, газу, а також технічного воску. Така продуктивність по опадам приблизно відповідає потужності Центральної очисної станції аерації у м.Києві.

На схемі сухий осад вологістю 10% надходить у складське приміщення площею 1500 м², що розраховано на 15-добове зберігання сухого осаду при об'ємній масі 0,6. Після двох дробарок продуктивністю по 6 т/год кожна осади похилими транспортерами подаються у верхній завантажувальний бункер, що обслуговує всі три печі, які обігріваються газом з розрахунковою температурою 450–500°C. У результаті піроліза виділяється напівкокс, що видаляється через нижній розвантажувальний пристрій печі. Газоподібні продукти, смола (первинний дьоготь) і пари води з печі надходять у газозбірник. Звідси рідка смола й вода стікають у водовіддільники. З газозбірника первинний газ надходить в охолоджувач. Очищення газу від СО₂ здійснюється трьома скруберами, а від Н₂S – двома. Видалення сірководню й вуглекислоти досягається промиванням газу спочатку вапняним молоком, а потім залізосодовим розчином, що після використання зливається в проміжну ємність, а потім для регенерації перекачується насосом у два барбatera. Тут для очищення від сірководню розчин продувається повітрям. Очищений газ надходить у мокрий газгольдер, звідки витрачається як паливо. З водовіддільників, оснащених змійовиками для обігріву паром і кращого відстоювання, підсмольна вода й механічні домішки, що забруднюють смолу, спускаються в каналізацію, а смола направляється у два сховища ємністю по 250 м³. Піролізний завод обслуговується насосним відділенням, що складається із чотирьох

відцентрових насосів і двох дозуючих поршневих насосів. Тут же розміщуються два ексгаустера, які здійснюють систему конденсації.

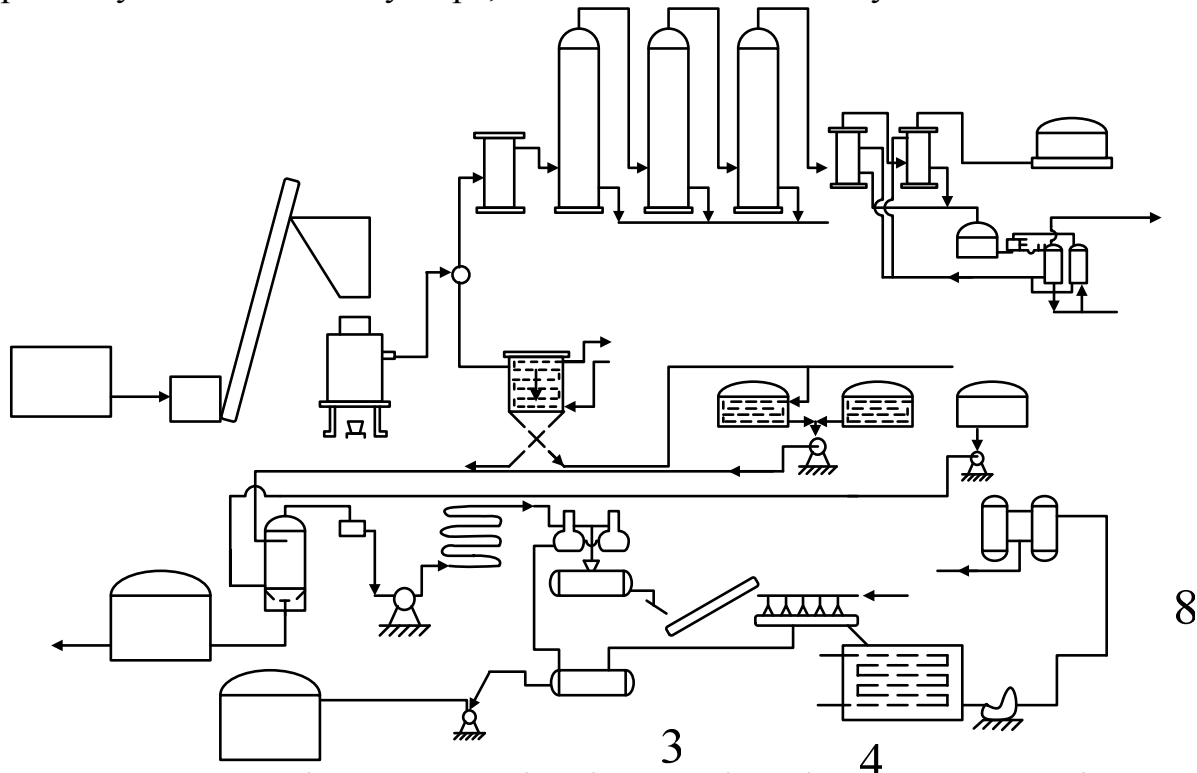


Рис. 8.8 Технологічна схема піролізу осадів стічних вод з виділенням пірокарбона, первинного дьогтю, газу, воску: 1 - склад сухого осаду; 2 - подрібнювач, 3 - транспортер, 4 - завантажувальний бункер, 5 - піролізна піч; 6 - газозбірник; 7 - водовіддільник; 8 - охолоджувач первинного газу; 9 - скруббер для SO₂; 10 - скруббер для H₂S; 11 - мокрий газгольдер; 12 - сховище смоли; 13 - сховище бензину; 14 - відходи воску для перебоязки; 15 - резервуар для бензину; 16 - екстрактор; 17 - проміжна ємність; 18 - насос; 19 - кристалізатори; 20 - центрифуги; 21 - резервуар для плавлення воску; 22 - Транспортер, 23 - закритий транспортер для промивання воску; 24 - резервуар вторинного плавлення; 25 - насос; 26 - фільтри; 27 - ємність для бензину, 28 - насос; 29 - проміжна ємність; 30 - насос; 31 - барбатери для регенерації залісодового розчину.

Виділення воску зі смоли здійснюється за допомогою бензину з наступною кристалізацією в апараті-екстракторі. У верхню частину екстрактора насосом подається смола, а в нижню – бензин, одержуваний по другій технологічній схемі. Розчин воску в бензині з верхнього штуцера переходить у проміжну ємність, звідки насосом подається в кристалізатори, охолоджені розсолем хлористого кальцію до 5–8°C. Після цього розчин воску надходить на центрифуги, потім віск для плавки потрапляє в підігрітий резервуар, а відділений бензин - в іншу ємність, звідки насосом перекачується в збірний резервуар для бензину, призначений для екстракції воску. Розплавлений віск із резервуара

гранулюється водою й по стрічковому транспортері подається на інший закритий транспортер, де остаточно промивається від домішок, а потім вдруге плавиться в резервуарі. Звідси рідкий віск перекачується для очищення на фільтри, після чого направляється на розлив і на склад готового продукту [2-4].

На рис. 8.9 наведена технологічна схема для переробки смоли (первинного дьогтю) з метою одержання бензину, гасу та інших продуктів. Первинний дьоготь із одного резервуара надходить в інший і після контрольного баку подається насосом у пековий теплообмінник. Тут дьоготь розігрівається за рахунок тепла, виділюваного при спалюванні пеку, і надходить в апарат, де підігрівається за рахунок тепла газів, що відходять. У корнюрі дьоготь нагрівається до 230–240°C теплом, одержуваним від спалювання під корнюром «кислотогудронного палива».

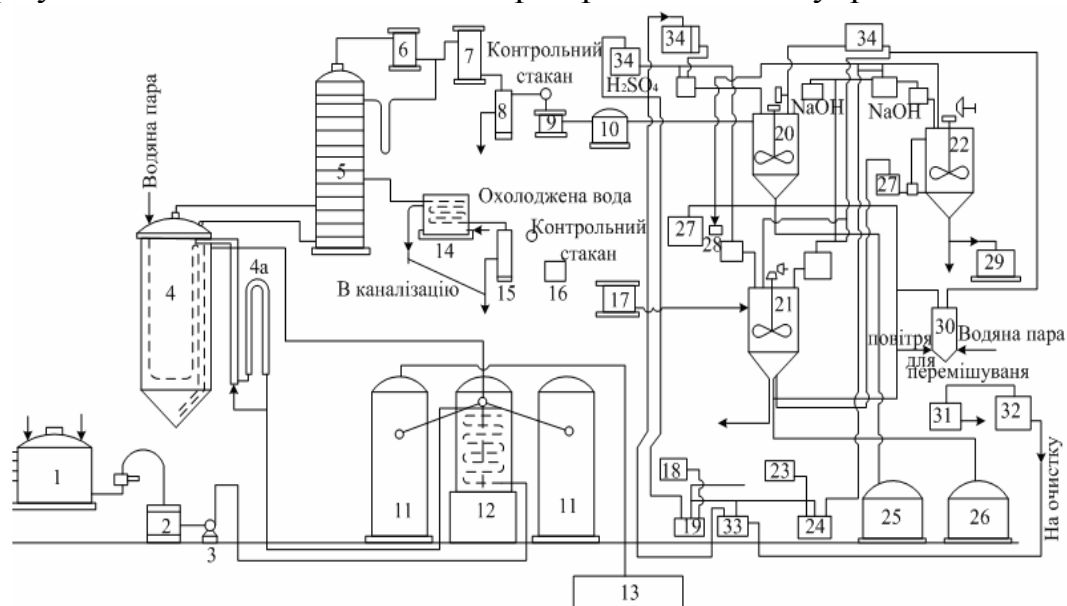


Рис 8.9 Технологічна схема піролізу первинного дьогтю з осадів стічних вод: 1 – резервуар надходження первинного дьогтю; 2 – контрольний бак; 3, 28 – насоси; 4 – корнюр; 5 – ректифікаційна колонна; 6 – дефлегматор; 7 – холодильник-конденсатор; 8 – сепаратор; 9 – приймач; 10, 17, 18, 23, 25 – сховища; 11 – пекогасники; 12 – пековий теплообмінник; 13 – ємність для пека; 14 – холодильник; 15 – сепаратор; 16 – приймач; 19, 24, 33 – монжуси; 20-22 – меланжери; 23 – сховище; 25 – сховище бензину; 26 – сховище; 27 – збірник; 29 – збірник органічних основ; 30 – роздільний резервуар; 31, 32 – збірник; 34 – дозатори.

В корнюр подається перегріта водяна пара для зниження температури розгону первинного дьогтю. З корнюра суміш пару надходить у ректифікаційну колону, де розділяється по температурі на дві фракції: одна – до 200°C, інша – до 200–300°C; тут же виділяється й залишок. Парова суміш фракції до 200°C (вода й сама фракція) з корнюра надходить у дефлегматор, що де відокремилася флегма стікає назад у

ректифікаційну колону, а суміш пару надходить у конденсатор-холодильник. Тут парова суміш конденсується й прохолоджується водою, після чого надходить у сепаратор, де вода відокремлюється від фракції й видаляється в каналізацію, а фракція з температурою до 200°C після контрольного ліхтаря (склянки) надходить у приймач і потім у сховище.

Інша фракція з температурою 200–300°C із ректифікаційної колони потрапляє в холодильник, де після охолодження до 35°C надходить у сепаратор, а потім, відокремившись від води, направляється в приймач і сховище. Залишок із дна колони стікає назад у корнюр. Зі сховища перша фракція (до 200°C) для одержання моторного бензину подається в меланжер, де вона очищається від органічних основ, деяких неорганічних вуглеводнів, фенолів і карбонових кислот. У меланжер зі сховища за допомогою монжусів і дозаторів стисненим повітрям подається сірчана кислота, що перемішується тут з бензиновим дистилятом. Після очищення дистиляту й видалення сульфооснов і кислого гудрону бензиновий дистилят промивається водою для видалення сірчаної кислоти, а потім обробляється підігрітим лугом (10%-ний), який подається зі сховища за допомогою монжуса. Після обробки, відстоювання дистиляту й спуска лужних домішок виходить очищений бензин, що направляється у сховище.

Гасовий дистилят (фракція 200–300°C) зі сховища подається в меланжер, де очищається так само, як і перша фракція. Після очищення гас надходить у сховище.

Розчини органічних основ, що утворюються при очищенні слабкої сірчаної кислоти першої й другої фракції, надходять у збірник, звідки насосом подаються в меланжер. Сюди ж попадає 10%-ний луг. Після перемішування, а потім відстоювання лужний розчин (відвід) сірчистий натрій видаляється в каналізацію, а органічні основи - у збірник і далі до споживача.

Кислий гудрон з меланжерів, де оброблялися дві фракції (бензин і гас), може бути оброблений гарячою водою й гострою парою з метою видалення частини сірчаної кислоти. У цьому випадку з кислого гудрону можна виділити до 70-80% від загальної витрати на очищення вільної сірчаної кислоти. Міцність кислоти 30-35%. З меланжерів кислий гудрон надходить в освинцьований розділовий резервуар, де під впливом гарячої або холодної води й гострої пари вільна сірчана кислота йде у воду, а кислий гудрон і кисле паливо (вище сірчаної кислоти) виділяються в збірник і витрачаються як паливо для корнюра і котельні.

Відділена слабка сірчана кислота збирається в збірнику, звідки витрачається в міру потреби. Залишок з корнюра (пек) під надлишковим тиском надходить у пековий теплообмінник, де віддає частину тепла для підігріву первинного дьогтю. Потім він направляється в пекогасники, де після охолодження збирається в ємності для пеку.

Загальна кількість вироблених продуктів по технологічній схемі (рис. 8.8) складе (т):

Воску	900
Пірокарбона	20000
газоподібних продуктів	5000
Підсмольної води	6800
смоли (первинного дьогтю)	9000

З первинного дьогтю по технологічній схемі (рис. 8.9) можна отримати (т):

Пека	600
Бензину	1200
Гасу	5000
Органічних основ	550
Кислого гудрону	850

Загальна кількість втрат від всіх одержуваних продуктів складе приблизно 10-12%. У відходах процесу піролізу осадів можна виділити додатково продукти, які можна використати в народному господарстві: сірку, азот, фосфор.

8.7 Піроліз активного мулу з метою одержання активованого вугілля

Однієї з можливостей використання надлишкового активного мулу є його піроліз для одержання активованого вугілля в якості сорбенту. Активоване вугілля (АВ) являє собою вуглеводневий адсорбент, який має велику пористу структуру поверхні й об'єм, він має здатність добре сорбувати газоподібні, пароподібні і розчинені речовини.

Для виробництва АВ у світовій практиці використовуються такі органічні матеріали, як деревина й деревне вугілля, торф і торф'яний напівкокс, викапні вугілля, нафтові залишки, відходи целюлозно-паперового виробництва та ін.

У табл. 8.8 наведений технічний й елементарний склад активного мулу, отриманого в результаті біологічного очищення стоків хімічного виробництва.

Таблиця 8.8 Характеристика вихідного активного мулу

Технічний склад, %			Елементарний склад, %				
Вміст вологи	Зольність	Вихід летючих продуктів	Водень	Вуглець	Кисень	Азот	Сірка (загальна)
2,8	9,6	80,6	7,7	52	29,9	10,1	0,3

Процес одержання активованого вугілля з активного мулу, попередньо висушеного до вологості 5–10%, зводиться до термічного

розкладання (деструкції) органічного матеріалу до одержання карбонізованого залишку (напівкоксу) і наступної активації його водяною перегрітою парою. У результаті впливу паром відбувається видалення вуглеводнів і смолистих речовин з поверхні напівкоксу, який виходить більш розпушеним з розвинутою пористою структурою. Найбільш доцільна температура водяної пари складає 700°C. Більш висока температура веде до різкого збільшення зольності, обгару вугілля й падінню його сорбційної здатності. Оптимальна тривалість активації, як показали досліди, дорівнює 60 хв. При більшій тривалості збільшується обгар і зольність активованого вугілля.

Без агента, що активує (водяну пару) одержуване вугілля-сирець буде володіти малою сорбційною здатністю і практично буде не активне.

Досліди з термічною обробкою активного мулу без доступу повітря показали, що виділення вологи спостерігається при температурі 135°C. Деструкція органічних речовин здійснюється при температурі 265–420°C. При цьому максимальне виділення газоподібних продуктів спостерігається при температурі 265°C, а утворення карбонізованої структури (напівкоксу) завершується при температурі 575–600°C. Збільшення температури вище 600°C не поліпшує процес деструкції й не збільшує сумарну пористість, активність і міцність сорбенту.

Матеріальний баланс процесу піролізу (карбонізації) активного мулу на 1 кг абсолютно сухої речовини і хімічний склад газів наведені нижче.

Матеріальний баланс процесу піролізу					Вихід продуктів	
					кг	%
Карбонізований мул					0,31	31
Летючі продукти					0,69	69
У тому числі:						
смола					0,27	27
гази карбонізації					0,17	17
вода					0,25	25
Хімічний склад газу, %						
H ₂	N ₂	C ₂ H ₄	O ₂	CH ₄	CO	H ₂ S+CO ₂
13,8	13,2	3,5	1,2	17	7,9	43,4

З наведених даних видно, що кількість одержуваного активованого вугілля з 1 кг абсолютно сухого активного мулу становить не менше 30%, а супутньому цьому процесу газу карбонізації – 17%.

Досліди по знезолуванню вугілля з метою збільшення пористості його й адсорбційної ємності проводилися за допомогою 10%-ного розчину соляної кислоти, що активно сприяла добуванню золи з пор вугілля. Це

знизило вміст мінеральних домішок з 47,15 до 8,22% і різко збільшило адсорбційну здатність вугілля (табл. 8.9).

Отримане обеззолене вугілля АВ_{об} має розмір зерен 0,5–1,5 мм (дрібнозернисте), зольність – 10%, рН = 6. Порівняння АВ_{об} з пористою структурою інших активованих вугілля, що випускаються промисловістю, наведене в табл. 8.10. З таблиці видно, що вугілля АВ_{об}, отримано з активного мулу, по вмісту мікропор трохи поступається іншим газовим вугіллям, що випускаються промисловістю, однак по вмісту перехідних пор близьке до освітлених вугілля марки ОВ_а. Збільшення об'єму перехідних пор свідчить про можливість застосування АВ_{об} для адсорбції органічних сполук з водяних розчинів з молекулами як невеликого розміру, так і полімерної будови.

До теперішнього часу відомі деякі технологічні схеми одержання активованих вугілля, перевірених на дослідно-промислових установках, які можуть бути використані при переробці надлишкового активного мулу. Одна із цих схем приводиться на рис. 8.10. Тут активний мул, зневоднений до вологості 50-55%, зі збірника надходить у гранулятор, після чого гранули висушуються в барабанній сушарці до вологості 10%. Далі сухі гранули піддаються піролізу в обертовій печі. Для активації гранули обробляються в камері водяною парою, а для знезолування промиваються 10%-ним розчином соляної кислоти. Після промивання активованого вугілля в камері й сушіння останні надходить на впакування як товарний сорбент.

Таблиця 8.9 Зміна адсорбційної активності вугілля при знезолуванні

Стан активованого вугілля	Адсорбційна активність, г/г		Зольність, %	Об'єм пор, см ³ /г			
	по СО ₂	по С ₆ Н ₆		V _{мікро}	V _{перех}	V _{макро}	V _Σ
До знезолування	0,36	0,16	47,15	0,102	0,128	0,485	0,73
Після знезолування	0,56	0,35	8,22	0,200	0,320	0,980	1,5

Таблиця 8.10 Характеристика пористої структури вугілля

Марка вугілля	Об'єм пор, см ³ /г			
	V _{мікро}	V _{перех}	V _{макро}	V _Σ
АВ _{об}	0,20	0,32	0,98	1,5
ОВ _а	0,26	0,27	–	–
КАД	0,34	0,15	0,51	1
АГ-3	0,32	0,16	0,41	0,89
БАУ	0,23	0,08	1,19	1,5
МД	0,22	0,18	–	–

Використання активованого вугілля високої частоти для лікувальних цілей. Лікування і зцілення людей від деяких важких захворювань й отруєнь, може здійснюватись на поглинанні із крові й лімфи за допомогою сорбентів (гемосорбентів) шкідливих і токсичних речовин. Сорбційна терапія є ефективною при важких отруєннях фосфорорганічними речовинами, токсичними рідинами, отруйними грибами. Сорбційна терапія прискорює лікування хворих з такими захворюваннями, як нирково-печінкова недостатність, деякі форми цирозу, важкі форми псоріазу, лікарські отруєння. Також, є прогрес у лікуванні таких важких захворювань, як шизофренія, епілепсія.

Основою для сорбційної терапії є активоване вугілля (АВ), що володіє здатністю витягати токсичні речовини різної природи і, яке відрізняється високою чистотою і великою поглинальною здатністю. Звичайні АВ, широко застосовувані в техніці (без спеціальної підготовки), погано сумісні із кров'ю. Вони повинні додатково очищатися й стерилізуватися.

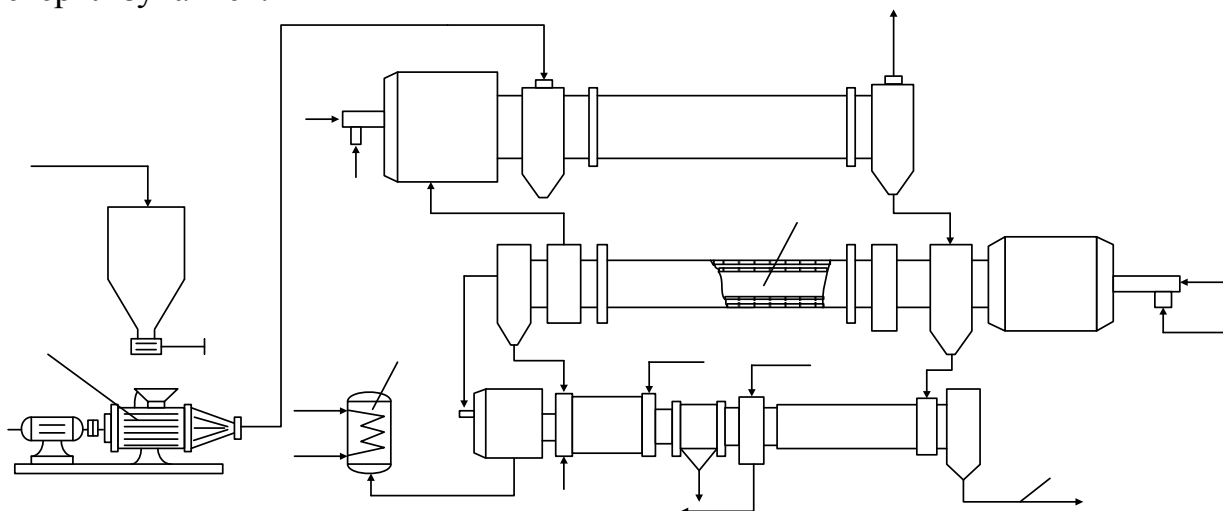


Рис 8.10. Технологічна схема отримання активованого вугілля з активованого мулові шляхом піролізу: 1 – збірник зневодненого активного мулу; 2 – гранулятор; 3 – сушарка; 4 – піч сушарки; 5 – оберտальна піч піролізу; 6 – топка для піролізної печі; 7 – камера активації; 8 – камера знезольовання; 9 – камера промивки; 10 – сушильна камера; 11 – активоване вугілля на упаковку; 12 – топка допалювання; 13 – котел-утилізатор тепла.

Активоване вугілля, виготовлене на базі активного мулу методом піролізу, є гарною основою для одержання гемосорбентів. По своїх природних особливостях активні мули містять багато білкових речовин, корисних мікроелементів, життєво важливих амінокислот і повну групу вітамінів В, включаючи В₁₂. В цьому плані активні мули вигідно відрізняються від інших органічних джерел, які служать сировиною для виробництва активованих вугілля. Вони можуть бути цінним

напівпродуктом для виробництва гемосорбентів, що буде організовано в широкому масштабі по лінії фармацевтичної промисловості.

8.8 Про спільний піроліз осадів з іншими відходами

Одержання воску з торфу й осадів стічних вод. Кількість одержуваного в нашій країні воску недостатньо для задоволення зростаючих потреб. Віск широко застосовується для виготовлення моделей, необхідних у виробництві металевих виробів; для полірування металевих нікельованих і хромованих виробів; для обробки шкіри, виробництва взуттєвого крему, мастики; для виробництва кольорових і чорних олівців, восківки, копіювального паперу, копіювальної стрічки й багатьох інших виробів.

Віск, традиційно одержуваний у невеликій кількості з торфу, з не меншим успіхом і в 2-2,5 рази дешевше можна отримувати з осадів стічних вод. Одержання доброякісного воску з осадів стічних вод методом піролізу є істотною перевагою організації виробництва воску на базі очисних станцій. При потужності очисних станцій в 0,5-1 млн. м³ за добу навіть при невеликих концентраціях стоків можна створити піролізні заводи, що випускатимуть не менше 500–1000 т воску в рік, не враховуючи інших продуктів. Сучасний піролізний завод з виробництва воску включає: 1) цех підготовки сировини; 2) екстракційний цех з відділенням знесмолювання; 3) склад продуктів, куди надходить готовий віск після обдувки сирого воску гострою парою; 4) котельню.

На рис. 8.11 наведена схема піролізного цеху в м. Санкт-Петербурзі. До позитивних прикладів можна віднести піроліз осадів стічних вод разом із твердими побутовими відходами або з іншими органічними відходами (осадами, шламами) промислових стічних вод, з відходами промислових підприємств (тирсою, корою дерев, торфом) і, нарешті, з відходами агропромислових комплексів.

Подібна спільна переробка відходів з метою одержання корисних продуктів цілком виправдовує себе.

1. Вирішується комплексно проблема видалення, обробки й використання не тільки осадів стічних вод, але й інших відходів.

2. При змішуванні осадів стічних вод з іншими відходами в останніх, як правило, збільшується вміст органічних речовин, що позитивно відбивається на виході корисних продуктів.

3. При змішуванні осадів стічних вод з відходами меншої вологості спрощується зневоднювання й сушіння загальної маси. Стосовно осадів, зневоднювання яких звичайно протікає складно й дорого, добавка навіть частини інших дроблених відходів діє подібно ретурі - виключає необхідність зневоднювання осадів або суміші відходів.

4. Спільна піролізна обробка й використання осадів стічних вод з іншими відходами раціонально вирішує не тільки одну з важливих економічних завдань для народного господарства, але й не менш важливе екологічне завдання.

Так, наприклад, у деяких розвинених країнах ліквідація твердих побутових відходів (ТПВ) вирішується шляхом часткового їхнього спалювання. Це значно забруднює навколишнє середовище (димові викиди, зола, неприємні запахи), чого практично не спостерігається при піролізній обробці відходів.

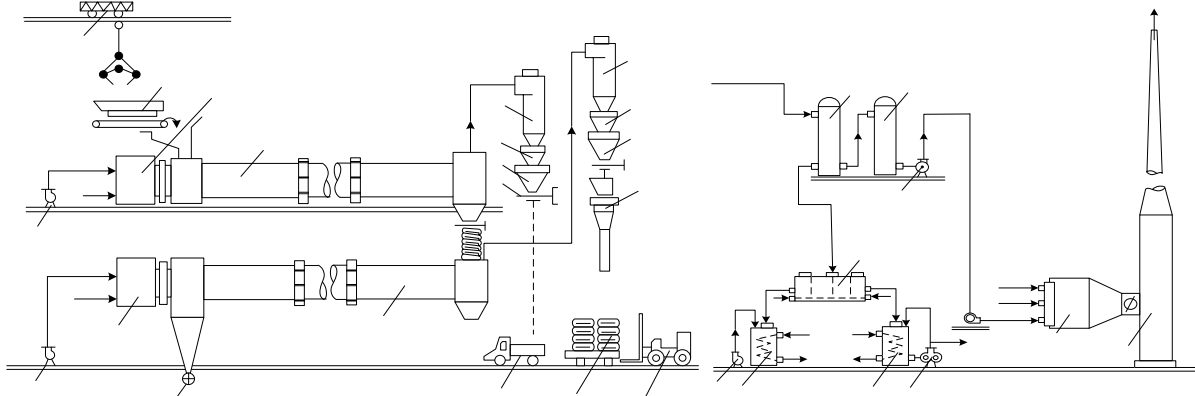


Рис. 8.11 Схема піролізного цеху в м. Санкт-Петербурзі: 1 – мостовий кран; 2 – живильник; 3 – барабан сушильний; 4, 12 – топка горизонтальна циліндрична; 5 – затвор двохколовий; 6 – циклон; 7 – рухома заслонка; 8, 14 – приймальний бункер; 9 – автомашинка самохвал; 10 – піч для піролізу; 11 – шлюзовий живильник; 13 – подвійна коливна заслонка; 15 – пакувальна машина; 16 – готовий продукт на склад; 17 – електронавантажувач; 18 – конденсатор кожухотрубчатий вертикальний чотирьохходовий; 19 – бак піролізатора; 20 – бак для води; 21 – бак для смоли; 22 – центр обіжний насос; 23 – насоси шестерні; 24 – вентилятор витяжний; 25 – вентилятор для дуття; 26 – піч опалювання горизонтальна; 27 – труба димову цегляна.

Для ілюстрації взаємного позитивного впливу змішування осадів стічних вод із твердими побутовими відходами міста для наступного спільного піроліза нижче приводиться приклад можливого рішення завдання стосовно до умов м. Санкт-Петербурга.

У м. Санкт-Петербург проживає близько 5 млн. чоловік. Утворення ТПВ на 1 людину дорівнює 3 л за добу, або 1 м^3 у рік, при вологості 40%, щільності $0,25 \text{ т/м}^3$, вмісті органічних речовин 65%. Осади на всіх трьох очисних станціях (Центральна, Північна, Південна) виділяються в кількості $30 \text{ тис.м}^3/\text{доба}$, або 10800 тис.м^3 у рік при вологості 96,5%, щільності осаду 1 т/м^3 , вмісті органічних речовин 76%. При раціональному спільному ущільненні активного мулу з осадами з первинних відстійників вологість суміші зменшується до 95-94%.

При змішуванні осадів стічних вод зі здрібненими твердими побутовими відходами міста середня вологість суміші становить близько 80%, що практично відповідає вологості осадів після зневоднювання їх на центрифугах. Середній вміст органічних речовин у суміші дорівнює 72,8%, що перевищує вміст їх у ТПВ на 7,8%.

Наведені дані доводять реальну можливість й економічність спільної обробки, що дозволяє виключити механічне зневоднювання.

8.9 Приклади створення піролізних заводів для великих очисних станцій

На базі великих очисних станцій, які можуть бути надійним джерелом органічної сировини, доцільно створювати піролізні заводи з метою одержання корисних продуктів. Такі заводи будуть незамінними в тих випадках, коли осади стічних вод містять шкідливі, токсичні речовини й не можуть використовуватися безпосередньо як добриво, компост, кормові й інші продукти. Піролізні заводи можуть улаштуватися й на базі з іншими відходами, куди осади стічних вод будуть перекачуватися по напірних трубах.

Наприклад, на рис. 8.12 наведена принципова схема піроліза осадів стічних вод. За даною схемою всі осади після зневоднювання до вологості 83% надходять у барабанну сушарку, де підсушуються до вологості 40%. Після сушіння осади попадають в обертальну піролізну піч, де при температурі 500–550°C без доступу повітря здійснюється піроліз (суха перегонка осадів). У результаті піроліза утворюється твердий вуглевмісний порошок (пірокарбон), а також виділяються горючий газ і рідкі продукти (смола і вода).

Пірокарбон використовується у металургійній промисловості як замітник аморфного графіту або як високоякісний сорбент і сажа для гумової промисловості. Необхідне для піролізу тепло забезпечується при спалюванні виділюваного газу. Для зниження температури теплоносія в газохід, між топленням і обертовою піччю, подаються охолоджені дим і газу з печі № 2. Парогазова суміш із піролізної печі № 1 направляється в скруббер, де охолоджується до $t=80^{\circ}\text{C}$ постійно циркулюючою водою через холодильник. Сконденсована в скруббері смола разом із холодною водою і виносом надходять у відстійник, де рідкі продукти відстоюються й відокремлюються від твердого залишку. Газовий потік з верхньої частини скруббера направляється в холодильник-конденсатор, звідки вентилятором подається для знешкодження в піч № 2. Рідкі продукти з холодильника стікають у відстійник. Смола збирається в окрему ємність, звідки насосами подається для спалювання в топлення або піч № 2.

При вирішенні питання утилізації осадів стічних вод, особливо для великих очисних станцій, варто виходити з наступних вимог: 1) напрямок

утилізації повинен відповідати масштабам очисної станції; 2) всі осадки повинні бути повністю утилізовані, незалежно від наявності в них шкідливих речовин; 3) спосіб утилізації не повинен представляти загрози для навколишнього середовища і людини; 4) економіка обраного способу утилізації повинна бути рентабельною.

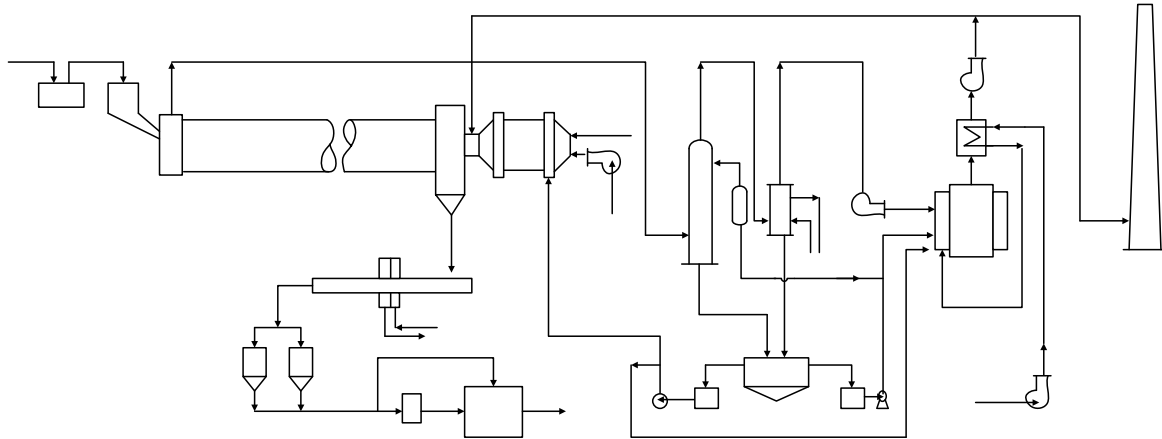


Рис 8.12 Схема піролізу осадків: 1 – осадок після сушіння; 2 – бункер-накопичувач; 3 – бункер живильник; 4 – обертова піролізна піч №1; 5 – топка; 6 – вентилятор; 7 – скрепковий конвеєр; 8 – вода; 9 – проміжкові ємність; 10 – шаровий млин; 11 – твердий вуглеводневий продукт (пірокарбон); 12 – склад; 13 – рідкі продукти і газ; 14 – скрубера; 15 – холодильник; 16 – холодильник-конденсатор; 17 – відстійник; 18 – бак; 19 – насос; 20 – піч №2; 21 – теплообмінник; 22 – димосмок; 23 – охолоджені димові гази; 24 – димова труба.

Всі ці вимоги можуть бути повністю виконані при варіанті сухої перегонки осадків, тобто будівлі піролізного заводу (на базі очисної станції), що забезпечує одержання таких корисних продуктів для народного господарства, як віск, бензин, гас, пірокарбон, активоване вугілля, сира нафта та ін.

Контрольні запитання

1. Дайте характеристику кормовому продукту белвітамілу з активного мулу та опишіть технологічні схеми його виробництва.
3. Проаналізуйте ефективність використання белвітамілу як кормової добавки для тварин.
4. Порівняйте використання у раціонах годівлі тварин і птиці кормових дріжджів і белвітаміла.
5. Проаналізуйте технологічні схеми піролізу осадків стічних вод.
6. Опишіть технологічний процес піролізу активного мулу з метою одержання активованого вугілля.
7. Дайте характеристику спільному піролізу осадків з іншими відходами.
8. Проаналізуйте досвід створення піролізних заводів для великих очисних станцій.

Розділ 9 УТИЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Осади стічних вод промислових підприємств становлять значний відсоток у загальній масі виробничих відходів. Багато хто з них у десятки разів перевищують кількість осадів від побутових стоків. Осади, що утворюються в процесі очищення стоків, містять залишки сировинних матеріалів (мінерального, рослинного і тваринного походження) і мають велику цінність для використання в народному господарстві. Уже зараз ці відходи частково утилізуються як кормові продукти, добрива, будівельні матеріали, пластмасові вироби, жири, паливо й багато видів вторинної сировини різних галузей промисловості. Власне кажучи можливості для використання осадів стічних вод промислових підприємств також не обмежені, як різноманітні види відходів.

9.1. Утилізація осадів стічних вод целюлозно-паперової промисловості

Целюлозно-паперова промисловість відноситься до однієї з галузей народного господарства, що споживають найбільшу кількість води. Незважаючи на відносно невисоку концентрацію стоків, загальна кількість осадів, що утворюються в галузі, в абсолютно сухій масі досягає приблизно 250 тис. т за рік, або 12-25 млн. м³ при їхній природній вологості.

В результаті очищення стічних вод тут виділяються наступні види осадів:

- осади волокновмісні «скопа», які виділяються при механічному очищенні;
- надлишковий активний мул, який утворюється у вторинних відстійниках при біологічному очищенні;
- шламлігнін, що утворюється в результаті хімічного очищення або доочищення у відстійниках або флотаційних спорудах. Волокновмісні осади складаються з кори, целюлозного волокна, наповнювачів, піску, вапняного шламу та інших мінеральних і органічних домішок. Вміст целюлозного волокна в осаді досягає 70-90% до абсолютно сухих речовин. Розміри окремих волокон становлять 0,2-4 мм, концентрація осаду з відстійників - 6-20 г/л, зольність осаду паперових фабрик - 30-50%, целюлозних заводів - 5-15%, целюлозно-паперових комбінатів - 20-40%. Загальна кількість осадів вологістю 98-99,4% дорівнює 1-3% від витрати стоків, які очищають.

Надлишковий активний мул представляє біоценоз, що складається головним чином з колоній аеробних мікроорганізмів, об'єднаних в хлопки біополімерною речовиною, що є продуктом життєдіяльності мікрофлори. Сюди також входять сорбовані частки волокна (15-20%) та інші

включення. Концентрація мулу при відкачці із вторинних відстійників становить 5-15 г/л, органічна частина - 85-90%, зольність - 10-15%.

Шламлігнін містить високомолекулярні сполуки лігніну і його похідних - 55-60%, волокна - 8-10%, хімікати реагентної обробки-10-20% та інші домішки, у тому числі може включати деяку кількість активного мулу, що виноситься із вторинних відстійників. Органічна частина його становить 79-82%, зольність-18-21%, концентрація шламлігніна - 2-3 г/л. Загальна кількість шламу вологістю 99,8-99,7% становить 10-15% від витрати стоків, які очищаються.

Утилізація волокновмісних осадів стічних вод целюлозно-паперових комбінатів (ЦПК) при виробництві волокнистих плит.

Одержувані волокнисті плити по своїх фізико-механічних характеристиках практично відповідають напівтвердим деревоволокнистим плитам. Ці плити можуть бути використані в будівництві і меблевому виробництві.

На рис. 9.1 наведена затверджена технологічна схема цеху виробництва волокнистих плит.

За наведеною схемою волокновмісний осад і активний мул з первинного й вторинного відстійників надходять на мулову насосну станцію, звідки перекачуються на ущільнювач, де згущуються до концентрації сухих речовин – 1,5–2%. З ущільнювача осади перекачуються в прийомний резервуар, куди надходять й інші здрібнені відходи. Із прийомного резервуара суміш, підігріта до 60°C (з метою кращої водовіддачі), перекачується в композиційний, або робочий басейн, куди додається парафінова емульсія і глинозем (3% від маси осаду). З композиційного басейну маса з концентрацією 1,5-2% і рН= 4,5÷5,0 перекачується на машину для відливу плит. За схемою в усмоктувальний патрубок насоса додається поліакриламід у кількості 0,5-0,6% від всієї маси [2-7].

Установка для формування плит (відливна машина) складається з дозатора й формуючих пристроїв. Тут маса зневоднюється до вологості 70% шляхом вакуумування і підпресування через верхні й нижні сітки. Сформовані плити вологістю 70% укладаються на піддони й подаються на прийомну етажерку гарячого пресу для пресування і сушіння плит. Тиск пресування дорівнює 1,5 МПа, а температура сушіння – 160-180°C. Для видалення пари, що утворюється при сушінні, встановлений ковпак, що з'єднаний із системою витяжної вентиляції.

Після пресу пакет піддонів з висушеними плитами до вологості 10-15% витягається на розвантажувальну етажерку преса. Піддони за допомогою розвантажувального транспортера передаються на поперечний конвеєр, де плити знімаються (знімним пристроєм) і подаються на пристрій для обрізки країв плит. Обрізки подрібнюються й вентилятором

повертаються спочатку в гідророзбивач, а потім назад у прийомний резервуар.

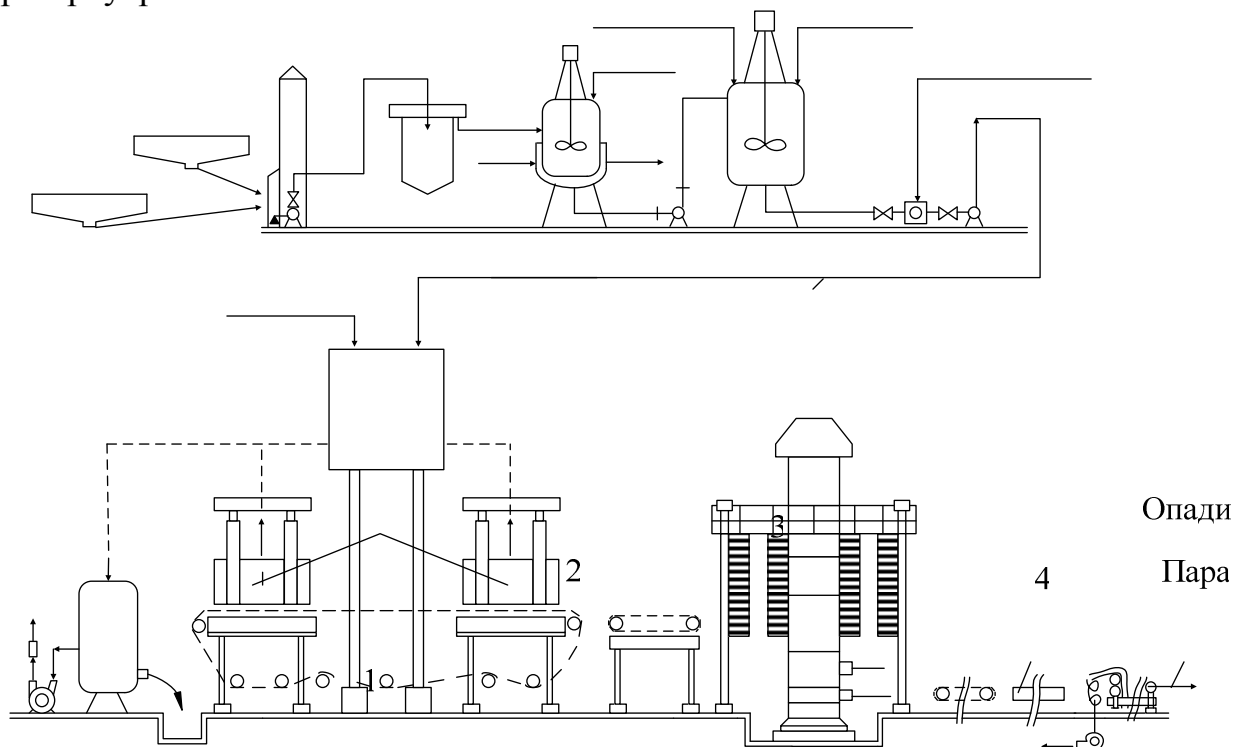


Рис. 9.1 Схема виробництва волокнистих плит: 1 - первинний відстійник, 2 - вторинний відстійник, 3 - насосна мулова станція, 4 - флотаційний ущільнювач, 5 - приймальний резервуар, 6 - насос; 7 - композиційний робочий басейн; 8 - трубопровід, 9 - дозатор, 10 - відливних машини для формування волокнистих плит; 11 - вакуум-насос, 12 - водозбірник; 13 - прес (багатополичний); 14 - стіл для обрізки країв; 15 - склад; 16 - вентилятор; 17 - повітряне видалення обрізок (країв) плит.

Готові плити, покладені в стоси, автотранспортом транспортуються на склад готової продукції або на облагороджування (емалювання, покриття шпони та ін.). Розроблений спосіб утилізації осадів стічних вод забезпечує економічно вигідну безвідхідну технологію, що виключає при цьому забруднення навколишнього природного середовища.

Використання осадів дозволяє заощадити лісові ресурси в кількості близько 10 млн. м³ у рік щільної деревини. При цьому строк окупності капіталовкладень цих виробництв становить 4,5-5 років.

Використання шламових відходів і осадів стічних вод для одержання гранульованого органомінерального добрива (ОМД). До шламових відходів, що утворюються при підготовці гідролізітів до біохімічної переробки, відноситься гіпсовий шлам після гарячого відстою, шламове суспензія живильних солей і шлам після холодного відстою. Загальна кількість шламових відходів для гідролізно-дріжджового заводу

становить 160-190 кг на 1 т абсолютно сухої сировини, тобто майже стільки, скільки завод виробляє кормових дріжджів з 1 т сировини.

Дотепер ці відходи не використовуються і вивозяться у відвал у вигляді зневоднених твердих осадів або шламової пульпи. Однак, шламові добрива в кількості 500-600 кг/га вологістю 14% збільшують урожай вівса й картоплі в середньому на 20%. Негативні результати отримані лише при використанні смолоподібного осаду з інвертора в кількості 30-40 кг на 1 т сировини, тому до складу шламових добрив цей осад не включений.

Шламові відходи характеризуються вмістом 70% мінеральних речовин і 30% органічних. До органічних речовин відноситься дрібнодисперсний лігнін, продукти неповного гідролізу деревини і гумінові речовини. Найбільшу цінність мають хіноні кисневі і метоксильні групи. Кількість їх досягає 5-7%. Ці полікарбонові кислоти мають більшу окисну властивість, що поліпшує обмін речовин, біологічну активність росту й розвитку рослин. До мінеральних речовин відносяться головним чином гіпс, сульфати кальцію і магнію, а також нерозчинної фосфатні сполуки, інертні домішки з вапна й суперфосфату.

Додавання осадів стічних вод, багатих органічними речовинами (азотом, фосфором), до шламових відходів поліпшує загальну вдобрювальну цінність комплексного добрива. З іншого боку, змішування органічних осадів із мінеральним шламом гідролітичних стоків значно полегшує зневоднення осадів стічних вод при їхній спільній обробці. Кількість осадів із первинних відстійників і надлишкового активного мулу із вторинних відстійників приблизно в 6 разів менше всіх шламових домішок. Характеристика шламових відходів і осадів стічних вод наведена в табл. 9.1.

На рис. 9.2 розміщена технологічна схема одержання гранульованого ОМД на основі шламових відходів і осадів стічних вод з первинних відстійників. Кількість останніх приблизно в 13 разів менше шламових домішок. Це обставина значно полегшує і спрощує спільну обробку й одержання більш цінного комбінованого добрива.

За схемою всі шламові відходи разом з осадом з первинних відстійників надходять у збірник-нейтралізатор з мішалкою. Сюди ж подається аміачна вода для нейтралізації суміші до $pH = 6-8$. Середня вихідна вологість всіх компонентів буде дорівнює приблизно 88%, а вміст органічних речовин підвищиться з 29% у шламі до 34% у суміші. Далі відцентровий насос перекачує пульпу на фільтр-прес для зневоднення приблизно до вологості 35-40%. Одержуваний при цьому фільтрат, що містить $PP=1-2\%$, збирається в збірнику, звідки повертається у виробництво для вирощування дріжджів.

Зневоднений осад після фільтр-преса (ФПАКМ) надходить у бункер, звідки направляється в гранулятор або на транспортер. У гранулятор зі збірника подається також зв'язувальна речовина, наприклад сульфітно-

дріжджовий концентрат. Після продавлювання через фільтри виходять гранули циліндричної форми діаметром 5-8 мм, довжиною 10 мм. Після гранулювання ОМД надходить на транспортер, а після в барабанну сушарку а потім у пакувальну машину.

Таблиця 9.1 Характеристика шламових відходів і осадів стічних вод гідролізного виробництва

Показники	Шлам гарячого відстою (гіпсовий)	Шлам живильних солей	Шлам холодного відстою	Осад первинного відстійника	Мул вторинного відстійника
Кількість, кг/т ОСВ	100–130	30–40	20–30	13	14
pH	3,7–4,2	1,5–2,5	4,2–4,5	6–7	6–7
Вологість, %	85–90	85–90	85–90	96	99,5–99
Органічні речовини, %	20–30	0	97–95	70–75	75–85
Мінеральні речовини, %	80–70	100	3–5	30–25	25–15
Загальний азот, %	0,2–0,3	9,5–1	1–1,5	3–4	3–4
Фосфор, %	0,3–0,6	2–3	0,4–0,5	1,5–2	1,5–2
Калій, %	Сліди	0,1–0,2	0,2–0,3	0,15–0,2	0,15–0,2
Хіноні кисневі групи, %	3,5–4	Немає	6,6–9,8	–	–
Метоксильні групи, % (у перерахуванні на лігнін)	30–35	Немає	70-80	–	–

9.2 Використання осадів стічних вод легкої промисловості

До підприємств легкої промисловості відносяться бавовняні фабрики, вовняного, шовкового, лляні, підприємства штучного волокна, трикотажні, хутряні і текстильно-галантерейні фабрики, шкіряні заводи, а також фабрики первинної обробки вовни та ін.

В осадах виробничих стічних вод цих підприємств утримується велика кількість корисних речовин. Так, наприклад, на кожну тонну віскозного волокна в стік переходить до 0,5 т сірчаної кислоти й 0,2 т їдкою натрію, а на 11 т мідно-аміачного волокна - до 300-400 кг міді. У шламі віскозних або кордно-штапельних волокон утримується до 15% цинку. При промиванні 1 т овечої вовни в стічні води, а потім в осади переходить 100-250 кг коштовного шерстного жиру та ін. Всі ці втрати цінних домішок можуть бути утилізовані, що важливо не тільки для економіки підприємства, але й для поліпшення й здешевлення очищення стічних вод. Нижче приводяться приклади добування й використання цінних відходів деяких підприємств легкої промисловості.

Одержання цинку зі шламу стічних вод підприємств штучних волокон. Штучні волокна одержують із природної органічної сировини

(целюлозного волокна, бавовняного пуху, ацетилцелюлози та ін.). До них відносяться головним чином віскозні волокна, властивості яких найбільш близькі до природних волокон. В Україні питому вагу штучних волокон перевищує 80% від загального виробництва хімічних волокон.

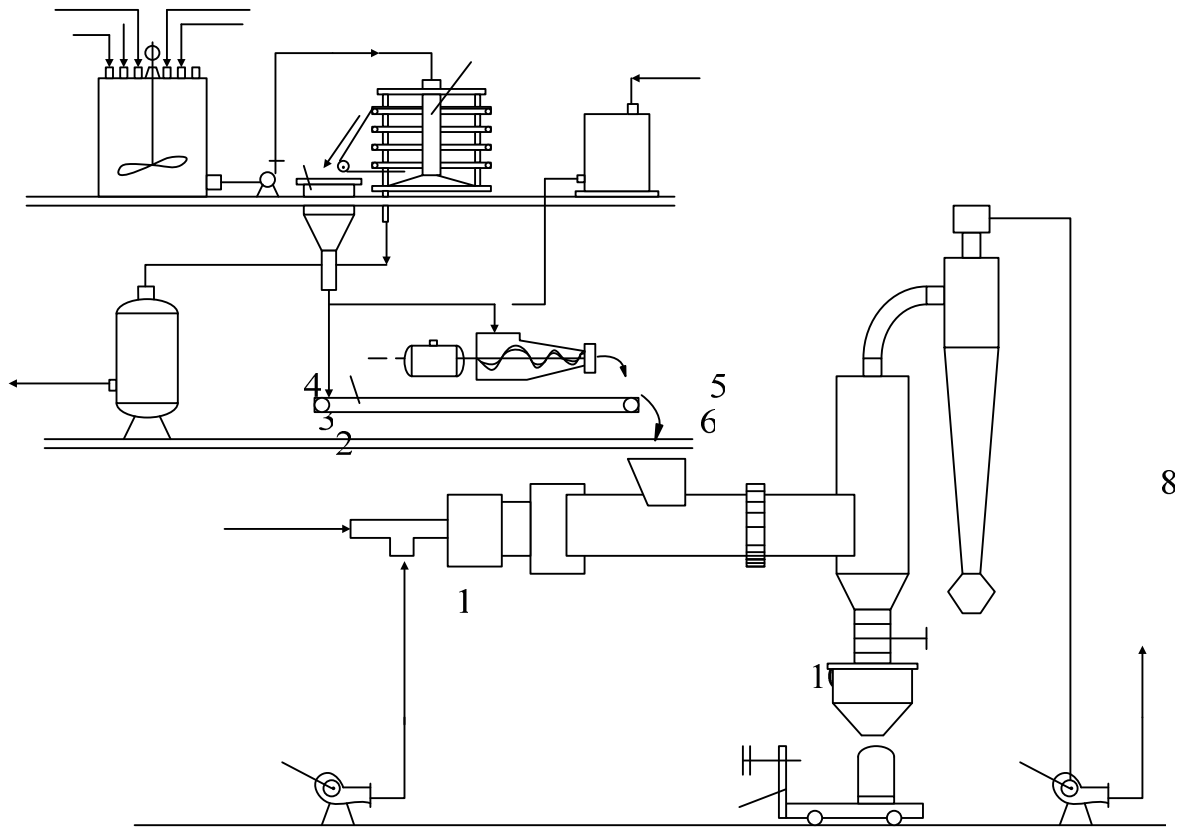


Рис. 9.2 Технологічна схема гранульованого органомінерального добрива: 1 – збірник нейтралізатор; 2 – гіпсовий шлам; 3 – шлам поживних солей; 4 – шлам холодного відстою; 5 – аміачна вода; 6 – осади стічних вод; 7 – насос; 8 – фільтр-прес (ФПКАМ); 9 – збірник для фільтру; 10 – бункер; 11 – збірник; 12 – шнековий змішувач гранулятор; 13 – конвеєр; 14 – камера; 15 – вилучувач; 16 – бункер і пакувальна машина; 17 – склад; 18 – циклон пиловловлювач; 19 – димовідсмоктувальний вентилятор; 20 – топка; 21 – топочний вентилятор.

Для одержання віскозного волокна вихідну целюлозу для хімічної переробки обробляють лугом, потім на фільтр-пресах видаляють надлишок розчину їдкого натрію з геміцелюлозою. Ущільнену лужну целюлозу подрібнюють і після дозрівання протягом 15-30 годин піддають подальшій обробці для одержання віскозного волокна.

Віскозні стоки містять сірковуглець до 2000 мг/л, їдкого натру до 600 мг/л, целюлози до 700 мг/л і БСК_{повн} до 2200 мг/л. Після локального очищення утвориться шлам, що видаляється в шламонакопичувачі. Кількість шламу вологістю 98-99% досягає 6% від об'єму стоків. Після тривалого ущільнення в шламонакопичувачах вологість шламу

знижується до 80-83%. До складу шламу входить 15% цинку, 12% кальцію, 0,6-2,5% магнію, 0,6% алюмінію, 1,5% заліза, при цьому ППП становить 30%.

У цей час у шламовідвалах віскозних підприємств утримується 70-80 тис. т цинку при щорічному приросту його близько 15 тис. т.

На рис. 9.3 наведена одна з перевірених технологічних схем регенерації цинку зі шламовідвалів віскозних підприємств. Цинковмісний шлам відбирається плаваючим снарядом у ємність, звідки пульпа перекачується у відстійник-ущільнювач, тут шлам ущільнюється до вологості 97%, після чого через насосну станцію подається на вакуум-фільтри для зневоднювання до вологості 70-80%.

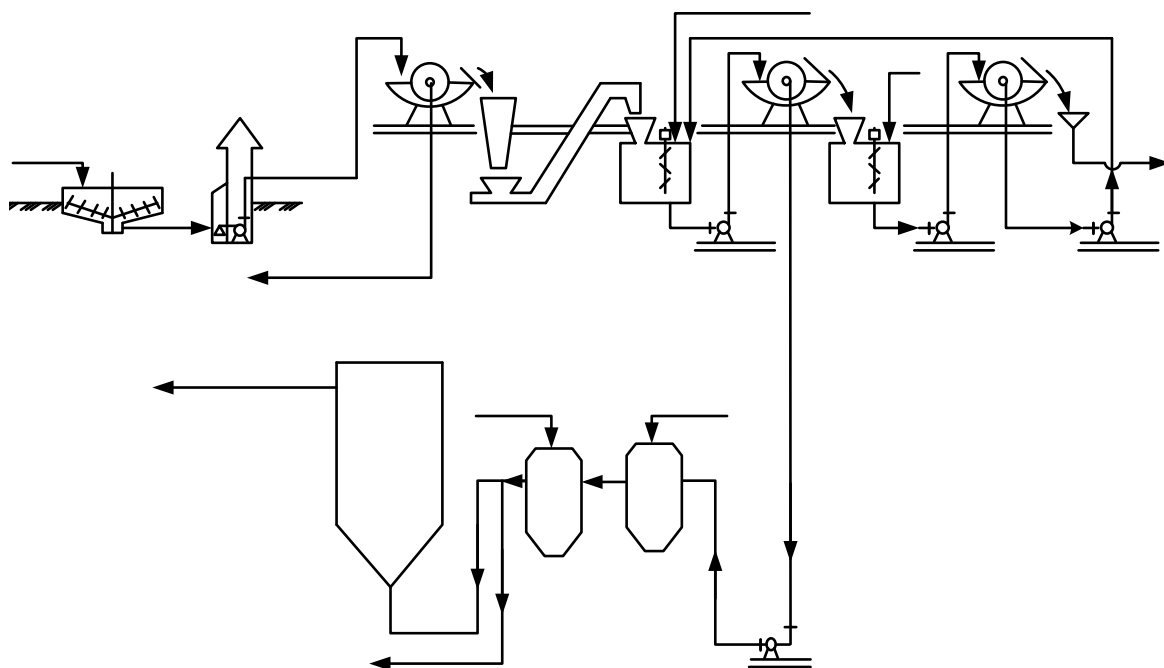


Рис. 9.3 Схема регенерації цинку з шламовідвалів: 1 – відстійник-ущільнювач; 2 – насосна станція; 3, 7, 10 – вакуум-фільтри; 4 – трубчаста піч; 5 – регенератор; 6, 9, 11, 12 – насоси; 8 – репульпатор; 13, 14 – цинкоутворюючі апарати; 15 – готовий продукт.

Отриманий кек надходить у трубчасту піч для прожарювання при температурі 700-800°C и потім у регенератор, куди додають сірчану кислоту для вилужування цинку. Регенераційна суміш перекачується насосом на вакуум-фільтр для фільтрації й виділення цинковмісного фільтрату, що насосом перекачується в екстрактор і реекстрактор. Частина цинковмісного розчину направляється для використання на основне виробництво, а інша частина - у піч КС, де виходить товарний безводний цинк. З метою більшого добування цинку кек після вакуум-фільтра надходить у репульпатор, звідки після розведення водою перекачується насосом на вакуум-фільтр. Фільтрат, що містить цинк, перекачується

насосом у регенератор, а кек відвозиться у відвал. За даною схемою регенерації ступінь добування цинку досягає 90%.

Склад кислих цинковмісних стічних вод цих виробництв приблизно наступний: сірчана кислота - 800- 1100 мг/л, сульфат цинку - 300-800 мг/л, сульфат натрію - 2000-2700 мг/л, сірковуглець- 80-150 мг/л.

Регенерація цинку частіше здійснюється на локальних установках реагентним способом. Схема однієї з таких установок наведена на рис. 9.4, де як реагенти використовується сірчистий натрій, їдкий натрій і кальцинована сода.

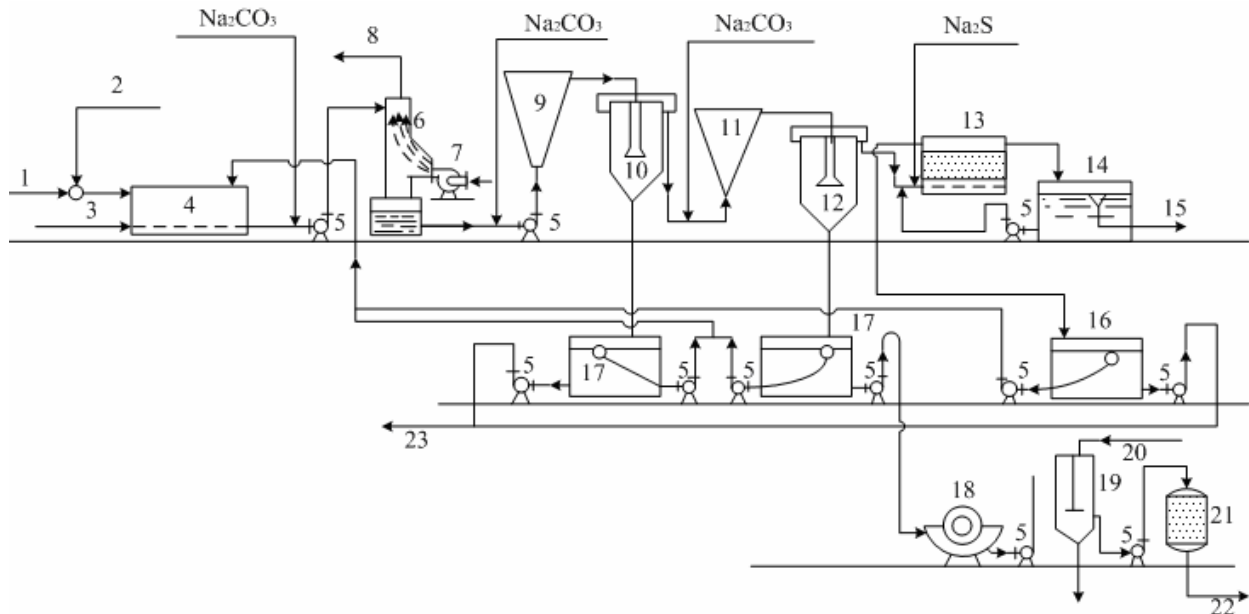


Рис. 9.4 Схема локальної установки з очистки стоків і регенерації цинку реагентним методом: 1 – цинковмісні стоки; 2 – шламознава; 3 – повітря; 4 – усереднювач; 5 – насоси; 6 – дегазатор; 7 – вентилятор; 8 – видалення газів; 9 – змішувач першого ступеня; 10 – відстійник першого ступеня; 11 – змішувач другого ступеня; 12 – відстійник другого ступеня; 13 – пісчаний фільтр; 14 – відстійник; 15 – відвід води; 16-18 – резервуари; 19 – вакуум-фільтр; 20 – реактор; 21 – розчин від кислотної осаджувальної ванни після збагачення цинком; 22 – напірний кварцовий фільтр; 23 – повернення цинку у виробництво.

Використання технічного жиру й ланоліну з осадів стічних вод фабрик первинної обробки вовни. Стічні води від фабрик первинної обробки овечої вовни (ПОВ) досить концентровані. Так, наприклад, фабрика, що випускає за добу 50 т митої тонкої вовни, виділяє стільки ж забруднень, скільки місто з населенням приблизно у півмільйона людей.

Стічні води виробництва тонкої й напівтонкої вовни утворюються після протиточного промивання і 2-годинного відстоювання. Вміст зважених домішок у них коливається в межах 3000-12000 мг/л, зольність - 23-60%, БСК_{повн} - 10000-22000 мг/л. При промиванні 1 т брудної тонкої або напівтонкої овечої вовни в стоки переходить 100-250 кг високоцінного шерстяного жиру.

Шерстяний жир зі стічних вод витягається кислотним, осадково-екстракційним, екстракційним, сепараційним і флотаційно-сепараційним методами (останній з них найбільш широко застосовується на фабриках ПОВ).

При флотаційно-сепараційному методі стічну воду звільняють у першу чергу від вовни і мінеральних забруднень. Флотація дозволяє виділити в піну до 90% шерстяного жиру і до 40% мінеральних залишків. Надалі пінний концентрат після підігріву до температури 95°C надходить на сепарацію. Флотаційно-сепараційний метод дозволяє витягти 50-60% шерстяного жиру від вмісту його в стічній воді.

Після первинного сепарування технічний жир, що містить домішки високомолекулярних сполук і мінеральних забруднень, направляється для очищення на вторинне сепарування. Але і після цього жир містить ще залишки домішок. Такий жир називають технічним шерстним жиром. Шерстний жир, що відокремлюється з поверхні волокна вовни в процесі її проти точного промивання, містить від 40 до 55% високомолекулярних спиртів (цетиловий, канацбовий та ін.) і жирні кислоти (пальмітинову, маристинову, церотинову, оцтову, мурашину та ін.).

Принципова схема флотаційно-сепараційного методу добування шерстного жиру представлена на рис. 9.5. Жировмісні стічні води після вловлювання вовни і мінеральних забруднень по трубопроводу надходять у цех жиродобування. Тут вони надходять у теплообмінник, де прохолоджуються з 45 до 28–30°C, після чого подаються у флотаційні і імпейлерні апарати. Отримана в результаті флотації концентрована жировмісна піна надходить у бак, а відпрацьовані стічні води після флотації скидаються в каналізацію.

З бака жировмісна піна перекачується насосом у бак підігріву емульсії, звідки остання надходить у первинні сепаратори, які розділяють емульсію на три фракції: жирову (напівпродукт), водяну й грязьову.

Жировий напівпродукт надходить у жировий бак, відпрацьовані стічні води - у бак скидання, а грязьові домішки - у третій бак. Жировий напівпродукт після підігріву надходить на вторинні сепаратори, після яких одержують кондиційний технічний шерстяний жир; останній розфасовується як готовий товарний продукт.

З метою більшого добування жирової продукції водяний скид перекачується насосом у підігрітий бак, звідки (після підігріву) надходить у проміжний сепаратор, що розділяє рідину на дві фракції - жирову і водну. Грязьові домішки перекачуються в теплообмінник для охолодження перед випуском їх у каналізацію, куди також надходять відстояні стічні води.

Одержання технічних жирів з осадів стічних вод. У побутових стічних водах завжди є деяка кількість жирових речовин. Переважна частина їх перебуває в осадах у вигляді найтоншої емульсії, інша – у

вигляді спливаючої кірки. Кількість жирових речовин у побутових стоках приблизно дорівнює 1 м на одну людину за добу, або приблизно 3–5 мг/л. Таким чином, з 1 м³ осаду вологістю 95% можна витягти від 7 до 10 кг жиру. Деякі фахівці вважають недоцільним займатися утилізацією жирових речовин на міських очисних станціях. Такий підхід допустимий лише для малих очисних станцій, а для великих і середніх утилізація жиру може не тільки істотно вплинути на зниження собівартості очищення, але й підвищити ефект роботи очисних споруд. Навіть просте використання жирових домішок (кірки), що спливають у відстійниках або жироловлювачах, являє собою утилітарну цінність. Так, сира жирова кірка містить: узимку - близько 40% жиру, 38% води й 22% інших домішок, улітку - 15% жиру, 62% води й 23% інших домішок.

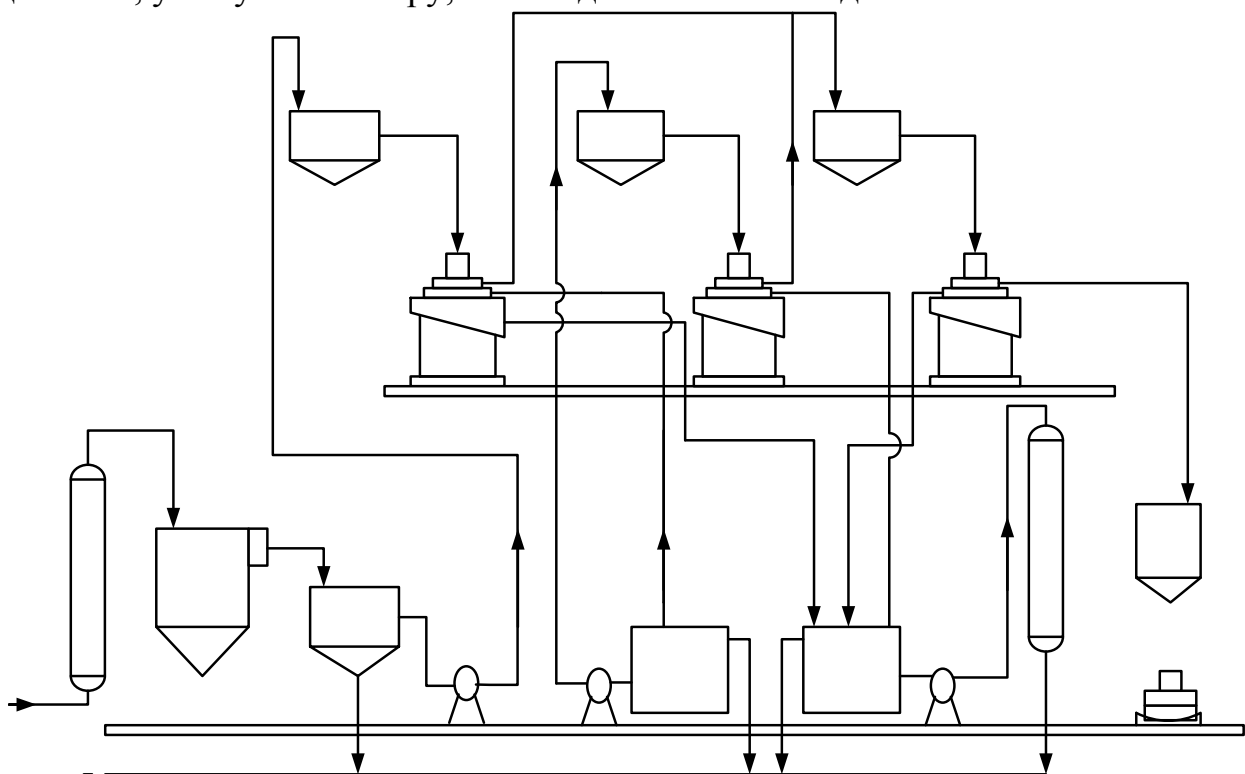


Рис. 9.5 Принципова схема вилучення вовняного жиру флотаційним методом: 1 - жировмісні стоки, 2 - теплообмінник, 3 - флотаційний імпелерний ущільнювач, 4 - збірник жировмісної згущеної піни; 5 - скидання в каналізацію; 6 - намокчи; 7 - ємність для підігріву емульсії, 8 - первинний сепаратор; 9 - ємність для жирового напівпродукту; 10 - бак для скидання відпрацьованих стічних вод; 11 - бак для грязьових домішок; 12 - вторинний сепаратор, 13 - збірний резервуар кондиційного жиру; 14 - розфасовувальна машина товарного продукту; 15 - проміжна ємність; 16 - проміжний сепаратор, 17 – теплообмінник.

При продуктивності очисної станції 1 млн. м³ за добу кількість утилізуємого жиру становить не менш 1400–1800 т у рік. Процес одержання технічного жиру досить простий і цілком здійснений на

очисних станціях. Спочатку сира жирова маса завантажувалася у варочний казан, потім сюди ж додається 50% чистої водопровідної води залежно від об'єму завантаженої маси. Після чого вся ця суміш піддається кипінню протягом 3 годин і відстоюванню протягом 1 години. Відстоюана брудна вода з осілими домішками випускається через нижню трубу; потім у казани вдруге додається 50% чистої води й суміш доводиться до кипіння.

Під час кипіння в казани додається сірчана кислота в кількості 1 % від всієї жирової маси, а потім знову кип'ятиться протягом 40 хв. За цей час відбувається згортання білків і слизу, а також руйнування барвників. Для розкладання емульсії, що утворилася від сірчаної кислоти, додається поварена сіль у кількості до 3% від всієї маси і вся суміш знову кип'ятиться ще 30 хв. Після цього вся маса відстоюється, а брудна вода випускається через нижню трубу.

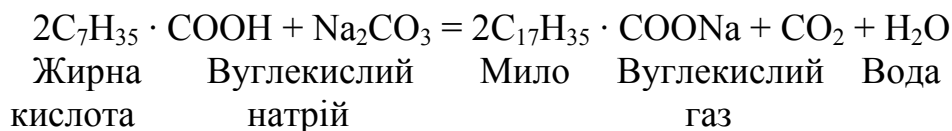
Отриманий у казанах жир промивається чистою водою, звільняючись при цьому від сірчаної кислоти й солі. Вся ця маса відстоюється втретє протягом 2 годин і після видалення забрудненої води вивантажувалася у вигляді готового технічного жиру.

Весь процес варіння жиру триває 7-8 годин. Жир містить приблизно 86% жиру, 2% води й 12% різних домішок. У такому вигляді цей продукт надходить як основна сировина на миловарні, стеаринові й інші заводи.

Використання технічного жиру з осадів стічних вод для виробництва мила. Технічний жир з домішок стічних вод рентабельно використати для виробництва високоякісного господарського мила. З 1 т технічного жиру можна одержати 1,5 т мила.

Технічний жир не є хімічно чистим, він містить деякої домішки, що перейшли із перероблюваної сировини, наприклад землю, пил, слизуваті, білкові, смолисті й барвники, продукти розщеплення й окислювання жиру, вуглеводи, вологу. Для одержання чистого продукту технічний жир піддають рафінації. Залежно від характеру забруднень очищення досягається фізико-хімічними або хімічними методами.

Одержання господарських мил частіше виробляється нейтралізацією жирних кислот вуглекислим лугом:



Процес виробництва господарського твердого мила складається з наступних операцій:

- підготовки сировини й матеріалів;
- готування мильного клею;
- виділення ядра для мильного клею (для ядрового мила);
- охолодження мила;

- оброблення мила (різання, підсушування, штампування, упакування).

З очисної станції продуктивністю 1 млн. м³ за добу при виділенні 1600 т технічного жиру в рік можна одержати 2400 т гарного мила.

Одержання консистентних змащень із жирових речовин активного мулу. В активному мулі, виділюваному в результаті біологічного очищення стічних вод, є близько 60% неомилюваних жирів типу нафтопродуктів. Ці речовини мають високу в'язкість, що дозволяє використати їх для виробництва змащень, і найкраще консистентних (типу «тавот»).

Консистентні змащення являють собою розчини натрієвих, кальцієвих мил жирних кислот у деяких мінеральних мастилах; вони застосовуються для важко навантажених механізмів, що працюють під більшим тиском або при високих температурах. Звичайне мінеральне масло тут непридатне, тому що видавлюється з вузлів мастильних пристроїв.

9.3 Використання активного мулу і інших відходів стічних вод як кормового продукту для комбікормової промисловості

Комбікормова промисловість відіграє більшу роль у формуванні й розвитку вітчизняного тваринництва, птахівництва. Вона забезпечує ці господарства кормовими концентратами й добавками, до числа яких відносяться концентрати у вигляді фуражного зерна, білки, рибне і м'ясокісткове борошно, вітаміни, у тому числі такі важливі, як В₁₂, амінокислоти, соняшниковий шрот, горох, ячмінь і багато хто інші.

Витрати на корми досягають 70% від загальної вартості м'ясних, молочних та інших сільськогосподарських продуктів, у тому числі на фуражне зерно, тому є потреба у максимальному залученні і використанні резервів - додаткових кормів і добавок.

Одержання технічного вітаміну В₁₂ з активного мулу. Вітамін В₁₂ (кобаламін) одержується зі складних білків, є самим потужним антианемічним засобом для людини, тварин, птахів, риб. Він стимулює й регулює процес кровотворення, бере участь у білковому обміні і в обміні вуглеводнів, впливає на ріст; регулює основні обмінні процеси в печінці; впливає на збереження нормальної діяльності нервової системи.

Формула вітаміну В₁₂ – C₆₃H₈₈O₁₄PCO, молекулярна вага 1357. Вітамін являє собою кристалічну речовину темно-червоного кольору. Його кристали добре розчинні у воді, не мають точки плавлення, стійкі в сухому вигляді, на світлі швидко гублять активність. Вітамін В₁₂ не токсичний. Раніше вітамін В₁₂ витягувався з ретельно очищених печіночних екстрактів, вартість 1 г вітаміну досягає 4000 грн. Пошуки більш дешевої сировини для одержання В₁₂ привели до того, що вже в 50-і роки в США і

Японії було створено кілька екстракційних станцій, які виробляють вітамін B_{12} на базі активного мулу. Зараз з'явилися більш дешеві джерела одержання чистого вітаміну B_{12} . Одним з них є культуральна рідина антибіотиків з концентрацією абсолютно сухих речовин 40-50 г/л, вміст у ній B_{12} дорівнює 0,4-0,5 мг, або 400-500 мкг на 1 л рідини.

Дійсно, виробництво стерильного (медичного) вітаміну B_{12} не є тепер дефіцитним по вихідній сировині і рівню виробництва. Проте активний мул можна розглядати як вихідну сировину, якщо застосовувати мул зі змістом B_{12} у кількості не 2–3 мкг/г, а 8–20 мкг/г і більше. На рис. 40 приводиться схема, доповнена першими трьома вузлами, у тому числі термогравітаційним ущільнювачем для згущення мулу з 99,5–99%-ної вологості до 96–95%-ної. Застосування ТГУ в даній схемі з підгрівом мулу до 80–90°C доцільно у зв'язку з необхідністю наступного підкислення мулу в реакторі, де потрібно його підігрів до 110°C. Відповідно до технологічної схеми (див. рис. 9.6) вихідний активний мул із вторинного відстійника перекачується муловою насосною станцією в термогравітаційний ущільнювач.

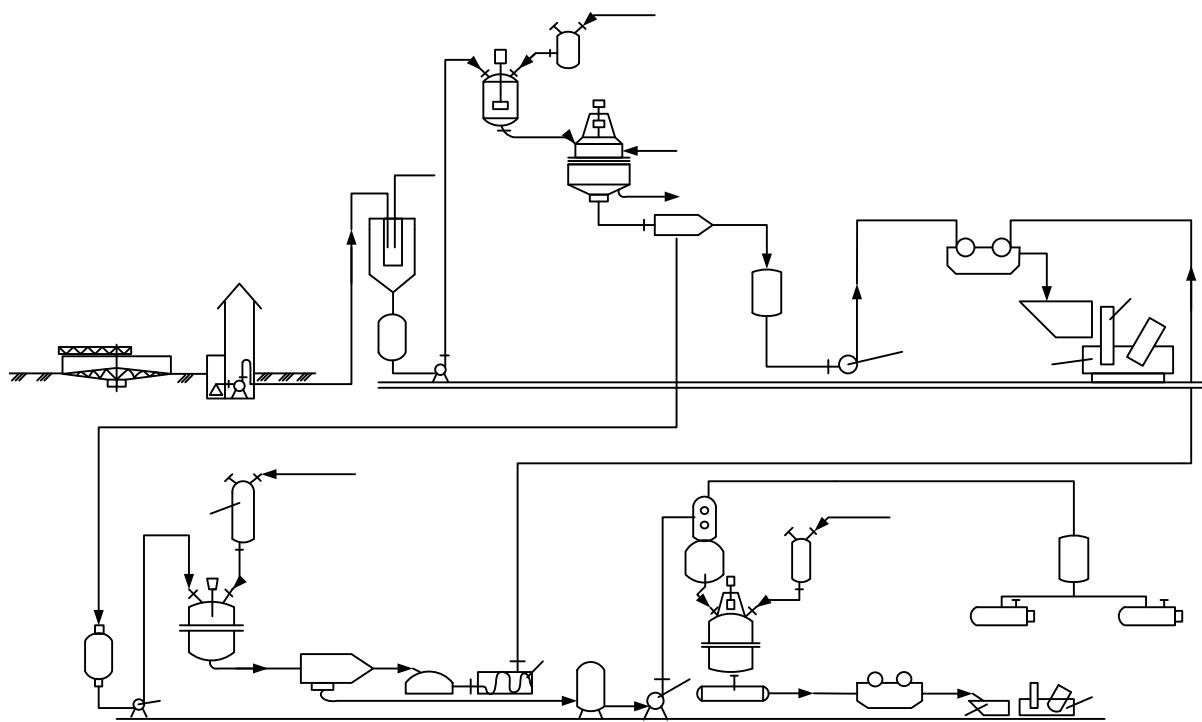


Рис. 9.6 Технологічна схема виробництва вітаміну B_{12} з активного мулу: 1 – вторинний відстійник; 2 – насосна станція; 3 – мулоущільнювач; 4 – збірний резервуар; 5 – змішувач; 6 – реагент; 7 – реактор; 8 – центрифуга; 9 – ємкість; 10 – насос; 11 – двохвальцова сушарка; 12 – дробарка; 13 – дозатор; 14 – тарні мішки; 15 – збірник; 16 – насос; 17 – коагулятори; 18 – мірник; 19 – центрифуга; 20 – збірник; 21 – винтовий насос; 22 – збірник; 23 – насос; 24 – вакуум випарна установка; 25 – ресивер; 26 – вакуум насоси; 27 – мірник; 28, 29 – збірники; 30 – двохвальцова сушарка; 31 – дробарка; 32 – готовий продукт.

5

Після ущільнення до вологості 95–96% мул перекачується в збірний резервуар, звідки насосом направляється в змішувач. Сюди ж з мірника надходить сірчана кислота для доведення величини рН мулу до 3. Підкислений мул потрапляє в реактор з нержавіючої сталі, де його підігривають паром до температури 110°C. При цій температурі мул витримують 10 хв, потім прохолоджують до 75–80°C і відокремлюють у центрифугі від твердих часток. Згущений мул збирається в ємності, а відтіля насосом перекачується у двохвальцову сушарку, за якою йде дробарка й дозатор для розфасовки продукту. Цей продукт фасується в мішки й використовується як добриво.

Фугат із центрифуги надходить у збірник, а відтіля насосом перекачується в коагулятори, у які з мірника направляється луг для доведення рН до 5. У коагуляторах маса після 5–6 годин відстоювання надходить на центрифугу для відділення осаду, що гвинтовим насосом також перекачується у двохвальцову сушарку для наступного одержання сухого добрива. Фільтрат або фугат після центрифуги надходить у збірник. Звідси, минаючи обробку, фільтрат подається на вакуум-випарну установку з ресивером і двома вакуум-насосами. Отриманий концентрат після вакуум-випарної установки спускають у збірник, куди з мірника додається луг для підвищення рН до 5. Зі збірника концентрат надходить в інший збірник, а відтіля на двохвальцову сушарку, потім на дробарку і у фасувальну готового товарного продукту – вітаміну В₁₂.

Якщо, наприклад, взяти місто з 1 млн. жителів і загальною витратою стоків 500 тис. м³ за добу, то при обсязі сухого надлишкового активного мулу 30 т на добу зі змістом 8 мкг/г вітаміну В₁₂ загальна кількість технічного вітаміну В₁₂ буде 84 кг у рік, що дасть чистий прибуток 9 млн. грн. Така сума, якщо не вважати інших статей доходу від утилізації всіх відходів стічних вод, дорівнює вартості експлуатації очисної станції.

Одержання білка з активного мулу. Найбільш гострою проблемою харчування безсумнівно є виробництво білка. Більшість людей у світі відчувають велику нестачу білка, дефіцит якого становить 50-60%. Тим часом саме від білка залежить біологічний і генетичний потенціал людей. Білка не вистачає і свійським тваринам, що відбивається на якості й кількості тваринної продукції.

Одним з багатих джерел одержання білка з відходів є активний мул, що завдяки життєдіяльності окисних бактерій містить до 50% білка (розраховуючи на абсолютно суху вагу). У ньому перебувають майже всі необхідні амінокислоти, мікроелементи і вітаміни групи В, у тому числі й В₁₂. Всі ці живильні речовини втримуються в білку активного мулу, мікробіологічний синтез якого при біологічному очищенні стічних вод відрізняється винятково великою інтенсивністю.

Спосіб одержання чистого білка з активного мулу передбачає наступну технологічну схему [2, 5-9]. Надлишковий активний мул із

вторинних відстійників надходить у періодично діючі відстійники для відстоювання мулу протягом 2 годин. Після зливу води мул направляють у фільтр-пастку, а потім на двоступінчасту сепарацію. Згущений у такий спосіб активний мул заливають соляною кислотою в трикратному об'ємі з таким розрахунком, щоб її концентрація після перемішування дорівнювала децинормальній. Цю суміш періодично перемішують і витримують протягом 24 годин. Після відділення води мул заливають децинормальним розчином їдкого натру в трикратному об'ємі до явно лужної реакції. Ця суміш також періодично перемішується і витримується протягом 24 годин (концентрацію їдкого натру підтримують на одному рівні).

Відділену від мулу лужну рідку фракцію нагрівають до 80-90°C, потім прохолоджують до 25°C і для осадження білка додають 10%-ний розчин соляної кислоти до значення рН = 4,6÷4,7. Осаджений білок відокремлюють від рідини, висушують і розфасовують.

З метою найбільш повного добування білка з активного мулу останній двічі обробляють децинормальним розчином їдкого натру в тій же послідовності. Екстрагований мул двічі промивають водою, білок із промивних вод осаджують 10%-ним розчином соляної кислоти при значеннях рН = 4,6÷4,7, а потім осаджують, висушують і розфасовують.

Одержання амінокислот і комплексу-аміну з активного мулу.

У тих випадках, коли по санітарно-гігієнічних умовах або за умовами вмісту в активному мулі шкідливих речовин використати його як кормовий продукт не вдається, перспективним є його утилізація для отримання окремих життєво важливих амінокислот або комплекс - аміну. За амінокислотним складом білок активного мулу наближається до білків яловичого м'яса. Виділені з мулу амінокислоти або комплекс - аміни можуть використовуватися в комбікормовій промисловості як добавка до кормового раціону птахів і тварин при нестачі тих чи інших життєво важливих амінокислот, а також у харчовій і парфумерній промисловості.

Отримання амінокислот здійснюється методом гідролізу білків активного мулу з додаванням 15 %-ного розчину соляної кислоти при температурі 127°C протягом 8 годин. При цьому режимі до 95 % протеїну розщеплюється на вільні амінокислоти. Гідролізат після очищення від соляної кислоти вакуумною відгонкою освітлюється від фарбувальних речовин активованим вугіллям. Разом з вугіллям сорбується весь фенілаланін, який потім десорбується і практично повністю виділяється з допомогою 2%-ного розчину алкілфенолу C₈₋₁₂ в оцтовій кислоті. Надалі алкілфенол з розчину, що містить фенілаланін, видаляється екстракцією. Оцтовокислий розчин фенілаланіну, що залишився упарюється при 45°C до отримання насиченого розчину і ставиться на кристалізацію. Випалі кристали фенілаланіну фільтруються, промиваються на фільтрі ефіром, а потім сушаться і фасуються як товарний продукт. Інші амінокислоти основного типу добре десорбуються з активованого вугілля 10%-ним

розчином оцтової кислоти при температурі 40-45°C. Перед їх виділенням освітлений гідролізат звільняється від іонів хлору на середньо основному аніоніті ЕДЕ-10П в ОН-формі. При цьому на смолі аніоніту сорбуються у великій кількості глютамінова і аспарагінова кислоти, які легко знімаються з іоніту при регенерації його лугом. Із знехлореного гідролізату з рН=4-4,5 виділяється лізин, аргінін і гістидин, які сорбуються на полістирольному сульфокатіоніті КУ-2 в NaH_4^+ -формі. Ці амінокислоти елюювали 2%-ним водним розчином аміаку. Даний злегка забарвлений елюат з рН=9÷11 освітлюють активованим вугіллям (0,5 мас. %) і упарюють при 45°C до вологості 76%. Потім елюат підкислюють соляною кислотою до рН = 7,6 і пропускають через карбоксильний поліакриловий катіоніт. КБ-4П-2 в NaH_4^+ -формі. На іоніті сорбується лізин та Аргінін (13-14 г суміші на 100 г катіоніту), причому технологія передбачає роздільне їх отримання. Гістидин і хлористий амоній (утворюється при іонному обміні) проходять в фільтрат. Для осадження гістидину (без хлористого амонію) додають до суміші 12-кратну кількість (за об'ємом) етилового спирту, який після роботи може бути регенерований. Суміш підігрівається до 70°C, перемішується протягом 30 хв і фільтрується. У фільтраті збирається 0,02 - 0,03 % гістидину.

Виділення валіну і лейцину із фільтрату після колони з катіонітів КУ-2 здійснюють шляхом упарювання до 45 %-ного вмісту сухих речовин. Цей розчин витримується 24 години при температурі 10°C, в результаті чого з нього викристалізовується тирозин і цистин, без виділення яких важко отримати валін і лейцин. Осад суміші тирозину і цистину відфільтровують. Для отримання валіну і лейцину отриманий фільтрат 25%-ним розчином вуглекислого натрію доводять до рН = 5,9 і упарюють під вакуумом до утворення перенасиченого розчину. Після кристалізації упареного розчину протягом 48 год при 4°C випалі кристали (за даними хроматографічного аналізу) мають наступний амінокислотний склад (%): лейцин з ізолейцином - 70,5-73; валін - 20,5-21; аланін - 4-4,5; серин і тирозин - сліди.

Слід зазначити, що отримання основних, незамінних амінокислот з активного мулу пов'язано зі складною технологією, цілком виправдано економічно. Значно простішим є виробництво амінокислотної суміші - комплекс - аміну, який корисний як добавка до розслинних та інших кормів для тварин.

Комплекс-амін отримують з гідролізату активного мулу після відгону соляної кислоти, освітлення активованим вугіллям, нейтралізації і знехлорування на аніоніті ЕДЕ-10П і подальшого упарювання при 45°C до вмісту сухих речовин - 70-75% і кристалізації при 4°C протягом 24 год. Випалі кристали амінокислот з домішками відфільтровують, промивають на фільтрі етиловим спиртом і сушать при 40°C. Отриманий таким чином товарний продукт комплекс - амін являє собою негігроскопічний порошок

кремового кольору, що відрізняється приємним запахом сухих грибів. До складу продукту входить до 68% амінокислот. У табл. 9.2 наведені результати аналізів амінокислот і комплекс – аміну. З викладеного способу отримання амінокислот з активного мулу і комплекс - аміну з урахуванням втрат від 11 до 20% слідує, що з 100 кг активного мулу (при вологості 10,5% і вмісті протеїну 38,2 %) можна отримати (кг): фенілаланіну - 1,48; лізину - 1,93; аргініну - 2,0; гістидину - 0,72; лейцину з ізолейцином - 3,34; валіну - 1,66 або 40 кг комплекс - аміну, що містить у своєму складі 27,2 кг амінокислот.

Таблиця 9.2 Характеристика амінокислот и комплексаміна

Амінокислота	Вміст основної речовини, % від сухої речовини	Сульфати, %	Хлориди, %	Важкі метали, %	Амонійні солі, %	Зола, %	Розчинність у воді
Фенілаланін	93	0,03	0,06	0,003	0,002	0,03	важкорозчинний
Лізін-хлоргідрат	90	0,01	–	0,002	0,003	0,02	легкорозчинний
Аргінін-хлоргідрат	90	0,01	–	0,002	0,003	0,02	легкорозчинний
Гістидин-хлоргідрат	92	0,01	–	0,004	0,004	0,03	легкорозчинний
Лейцин + Ізолацин	93	0,02	0,03	0,003	0,002	0,2	важкорозчинний
Валін	81	0,02	0,03	0,003	0,002	0,3	розчинний
Комплекс-амін	68	0,74	0,52	0,150	0,100	10	важкорозчинний

Отримання м'ясо-кісткового борошна з осадів стоків м'ясокомбінатів. Відходи м'ясокомбінатів, затримані в спеціальних відстійниках (конфіскати, роги, копита, щетина, обріз зі шкур, відходи кишок та ін.), багаті білками високої біологічної цінності: в них містяться найважливіші амінокислоти і значна кількість жирів. Після промивання, сушіння і розмелювання з цих відходів отримують м'ясо-кісткове борошно. Виробничі відходи при переробці великої рогатої худоби становлять 5,5 %, свиней - 3,1 % і дрібної рогатої худоби - 15,4 %.

Кормова цінність м'ясо-кісткового борошна визначається вмістом найважливіших амінокислот, вітамінів, солей фосфору і кальцію, а також жирів. З вітамінів групи В присутні: рибофлавін, пантотенова і нікотинова кислоти, тощо, а також жиророзчинні вітаміни. Загальна поживна цінність 100 кг м'ясо-кісткового борошна (при вмісті до 30% золи) дорівнює в середньому 89 кормовим одиницям. Таке борошно містить 37% перетравного протеїну і є цінним кормовим продуктом, реалізованим по

лінії комбікормової промисловості або безпосередньо в тваринницьких фермах.

Приготування рибного борошна зі стоків рибних заводів. Рибні відходи переробки (риб'ячі голови, плавники, хвости, печінка і нутрощі), змиті водою, відстоюються, промиваються і випарюються, а потім після термічного сушіння і розмелювання затарюються в мішки як кормовий продукт. Ця цінна кормова добавка містить до 52-61% білка (фібрин, альбумін, колаген) і багато фосфатів.

9.4 Використання газу метантенків

Висококалорійний газ метан із метантенків може бути ефективно використаний для енергетичних та інших потреб, зокрема для агропромислових комплексів, де виділяється велика кількість органічних відходів. Анаеробна переробка цих відходів у метантенках при лужному зброджуванні осадів, по-перше, поліпшує їхню якість для наступного використання, а по-друге, супроводжується виділенням біогазу (метану), який може бути використаний в якості палива.

Використання біогазу є більш перспективним у зв'язку із використанням анаеробного очищення концентрованих промислових стоків. Таке очищення за рахунок одержання і використання біогазу швидше окупають витрати по капіталовкладеннях. Одержуваний біогаз (суміш метану з вуглекислим газом) із теплотворною здатністю від 22000 до 30 000 кдж/м³ добре заміняє більш дороге мазутне паливо. Так, з 1 кг забруднень, що розкладаються, утворюється до 600 л біогазу, що заміняє близько 0,3 літри нафтового палива.

До переваг анаеробного, або анаеробно-аеробного, очищення концентрованих стоків відноситься також більш високий ступінь загального очищення (97-99%) і різке скорочення об'єму осадів - до 5-10 разів. У процесі зброджування осадів у метантенках відбувається розпад органічних речовин і посилене виділення газу. Склад і кількість газу, віднесена до 1 г беззольної речовини, визначається хімічним складом осаду по формулі $a = (0,92 ж + 0,62 в + 0,34 б) 100\%$, де ж, в, б вміст відповідно жирів, вуглеводів і білків, г, на 1 г беззольної речовини осаду. При відсутності даних про хімічний склад величину a допускається приймати: для осадів з первинних відстійників – 53%, для надлишкового активного мулу – 44%, для суміші по середньоарифметичному співвідношенню змішуваних компонентів – по беззольній речовині. Для практичних цілей кількість утвореного газу орієнтовно можна приймати 12–16 м³ на 1 м³ завантаженого осаду. Найбільш простим способом використання газу метантенків є перетворення його в джерело теплової, механічної й електричної енергії. Для невеликих населених пунктів або агропромислових комплексів біогаз можна використати для побутових

цілей у балонах, наприклад для газових плит. На більших об'єктах газ можна використати як замітник бензину для автомашин або тракторів. Газ великих очисних станцій цілком можливо використати на деяких хімічних виробництва, що виробляють корисні продукти для народного господарства.

Отримання із біогазу теплової, механічної і електричної енергії.

Виділений метантенками біогаз складається: чистого метану – до 60–70%, вуглекислоти – 26–34%, азоту – 1–3%, водню – 1–3% і слідів сірководню. Теплотворна здатність такого газу коливається від 5000 до 6500 кал на 1 м³. Температура горіння чистого метану 1300–1400°C, при цьому 1 м³ газу з метантенків дає приблизно 6,5 кг пари, а 1000 м³ газу заміняє 0,8 т умовного палива.

Серед відомих видів палива метан займає одне з перших місць і ставиться до ідеальних продуктів горіння. Його перевага виражається в повноті згорання продукту без виділення шлаків, кіптяви й сажі, що досить важливо з погляду охорони навколишнього середовища.

На очисних станціях широко практикується спалювання метанового газу в топках котелень із метою обігріву самих метантенків, а також приміщень, розташованих на території очисних станцій. Для спалювання газу в котельні спеціального устаткування не потрібно. Газ із метантенків, що збирається в газгольдерах, у сирому вигляді (без очищення і сушіння) надходить у топку котла з газовим пальником, де і спалюється. Використання цього газу для цілей опалення дозволяє щорічно заощаджувати тисячі тонн умовного палива. Так, наприклад, кількість газу на очисній станції продуктивністю 1 млн. м³ стічної води за добу становить приблизно 20 млн. м³ газу за рік. З огляду на те, що 1 м³ газу відповідає 0,71 кг коксу, можна заощадити при використанні всієї кількості газу як палива 15 тис. т коксу за рік.

Більш бажаним є використання газу метантенків для одержання механічної й електричної енергії. Це може привести до створення власної енергетичної бази, економічно це дуже важливо, оскільки вартість електроенергії на станціях аерації становить 30-60% від всіх експлуатаційних витрат.

Для енергетичного використання газу із метантенків направляється в газові двигуни; при цьому одна частина палива перетворюється в механічну або електричну енергію, а інша виноситься разом з холодною водою і вихлопними газами. Витрата газу для одержання потужності 0,74 кВт становить 0,3–0,6 м³. Якщо виходити з теплового балансу газового двигуна, то можна вважати, що на корисну механічну роботу витрачається 20-25% тепла, що потрапляє у двигун, а разом із втратами на тертя - до 32%. Інше тепло газу виноситься з холодною водою (30-38%) і вихлопними газами (38-30%).

Від двигуна холодна вода з температурою 70-90°C може бути спрямована по циркуляційній системі в метантенки або в систему водяного опалення і гарячого водопостачання. Після охолодження вода знову повертається у двигун. При такій системі майже все тепло охолодженої води може бути використано, за винятком втрат у трубах, які не перевищують 10%. Таким чином, від кожного 1 м³ газу з теплотворністю 6000 кКал можна отримати 1500-2000 кКал тепла із системи охолодження. При використанні вихлопних газів у теплообміннику температура цих газів падає з 600–700 до 120–160°C, що становить 1200–1500 кКал від 1 м³ газу, що спалює у двигун. Якщо, наприклад, 50% одержуваного газу за рік на очисній станції аерації продуктивністю в 1 млн. м³ за добу стічної води використати для виробітку власної електроенергії, то з 10 млн. м³ газу можна виробити приблизно 15 млн. кВт·год за рік. Постійна потужність електродвигунів, вироблювана за рахунок використання 50% одержуваного газу метантенків, складе $25000/(0,5 \cdot 24) = 1500$ кВт.

За кордоном зараз використовуються газові двигуни, що працюють на подвійному паливі, суміші газу (93-98%) і рідкого палива (2-7%). Такі двигуни при однакових умовах виробляють на 20% більше енергії, відрізняються легким запуском і більш плавною роботою.

Газ як заміник бензину. Газ із метантенків є висококалорійним паливом. Його теплотворна здатність дорівнює 5000–6500 кКал/м³, а після видалення вуглекислоти досягає 8000 кКал/м³. Для транспортабельності газ стискають під тиском 20–35 МПа і зберігають у балонах, установлених на автомашинах, при цьому 1,2 м³ газу з метантенків еквівалентний 1 л бензину. На 100 км шляху для 3-тонної автомашини потрібно близько 36 м³ газу з метантенків замість 30 л бензину. При тиску, наприклад, 20 МПа в балон ємністю 50 л вміщається до 10 м³ газу, отже, для 100 км пробігу досить мати три-чотири таких балона. Автомашини вантажопідйомністю 3 т і вище при переході на газ повністю зберігають вантажопідйомність, динамічні і експлуатаційні якості. Такі машини можуть успішно конкурувати з автотранспортом, що працює на бензині.

На рис. 9.7 наведена принципова схема газонаповнювальної станції, розташованої на території великих очисних споруд. Біогаз із метантенків збирається в газгольдері, звідки надходить на фільтри для первинного очищення і звільнення від вуглекислоти. Після фільтрів газ треба на чотирьохступеневий компресор, де він стискається спочатку до 0,4, а потім до 17 МПа; після додаткового очищення в скрубєрі й водо виділення він стискається спочатку до 12, а потім до 25-35 МПа. З холодильника й після просушки газ рухається в акумулятори, звідки після видалення конденсату подається в газозаправну колонку для зарядки балонів.

Найбільш простим способом очищення газу від вуглекислоти є промивання водою під тиском 2-2,5 МПа. Очищення газу від сірководню

можна здійснити шляхом пропущення газу через шар дрібнодисперсного окису заліза, змішаного з деревною стружкою.

Якщо газонаповнювальна або газороздаткова станція розташована за межами очисних споруд (на відстані 1 - 1,5 км), то при тиску в газгольдері 2000 МПа газ подається по газопроводу без компресора. При більшій відстані використовується невелика компресорна установка з тиском 0,2-0,3 МПа для подачі газу від метантенків на газонаповнювальну і газороздаткову станції.

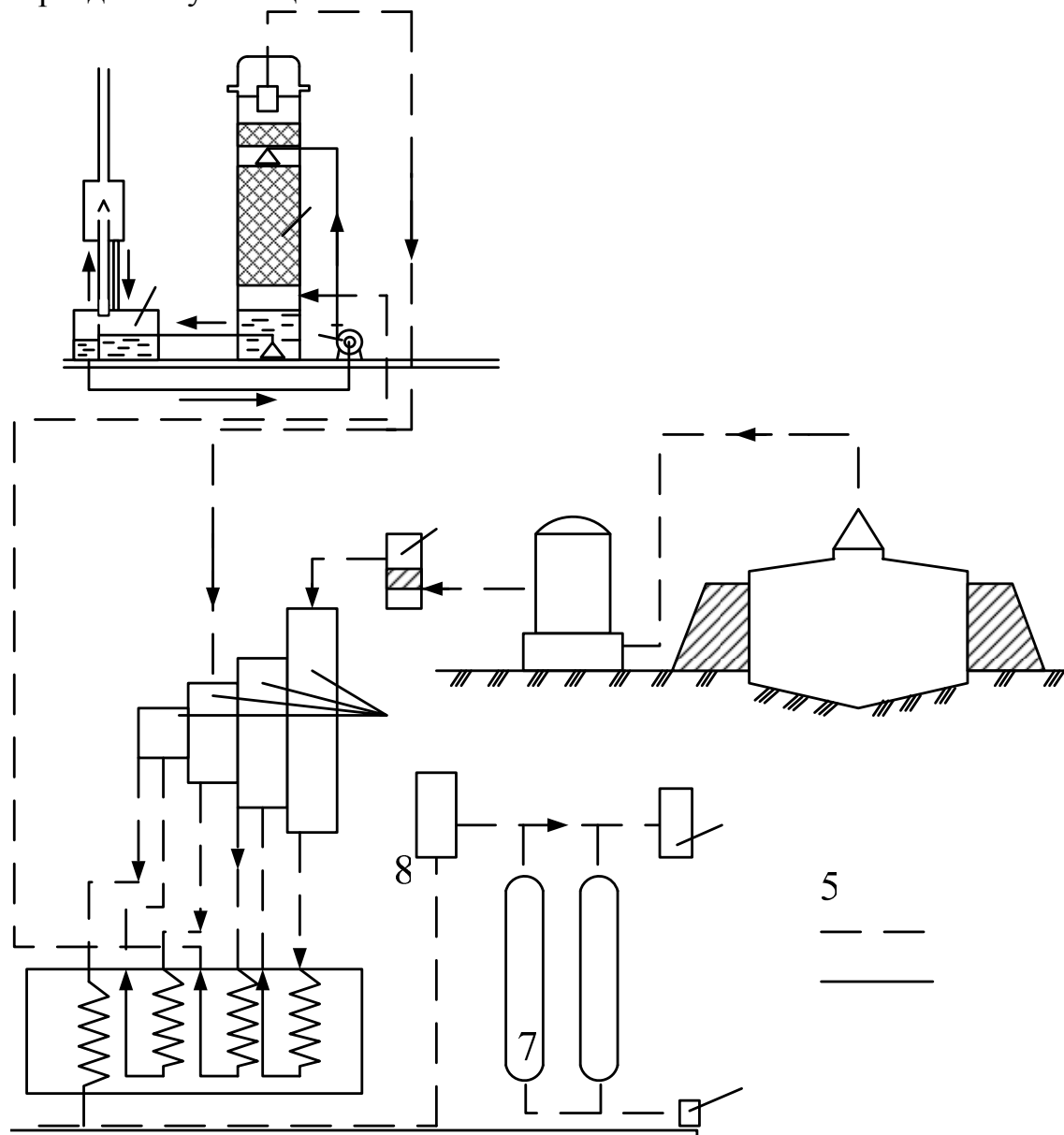


Рис. 9.7 Принципова схема газонаповнювальної станції на основі газу з метантенків: 1 - метантенк; 2 - газгольдер, 3 - фільтр, 4 - компресор, 5 - скруббер; 6-8 - водовідділення; 9 - холодильник; 10 - сушарка; 11 - акумулятор, 12 - конденсат-13 - газозаправочна колонка.

Використання вуглекислоти, що втримується в газі метантенків. Газ із метантенків, одержуваний у результаті зброджування

осадів, складається в основному на 70% з метану (CH_4) і на 30% вуглекислоти (CO_2). Відділення вуглекислого газу від метану підвищує калорійності газу з 5 до 8 тис. кКал з 1 м^3 . До останнього часу вміст вуглекислоти розглядався як шкідливий баласт, що знижує калорійність газу. Однак, вуглекислота газу метану може бути використана для одержання сухого льоду, зокрема на базі очисної станції. У порівнянні зі звичайним льодом сухий лід, хоча і є значно дорожчим, однак має істотні переваги. Так, при рівній холодопродуктивності він займає об'єм, приблизно в 5 разів менший звичайного льоду. Особливо він вигідний під час перевезення й зберіганні продуктів, що вимагають температури нижче 0° . Сухий лід не виділяє поталої води, що небажана по гігієнічних та інших вимогах. Існуючі заводи сухого льоду в якості сировини застосовують антрацит, що при згорянні виділяє вуглекислоту. Для одержання сухого льоду із біогазу може бути застосована одна зі схем, представлена на рис. 9.8.

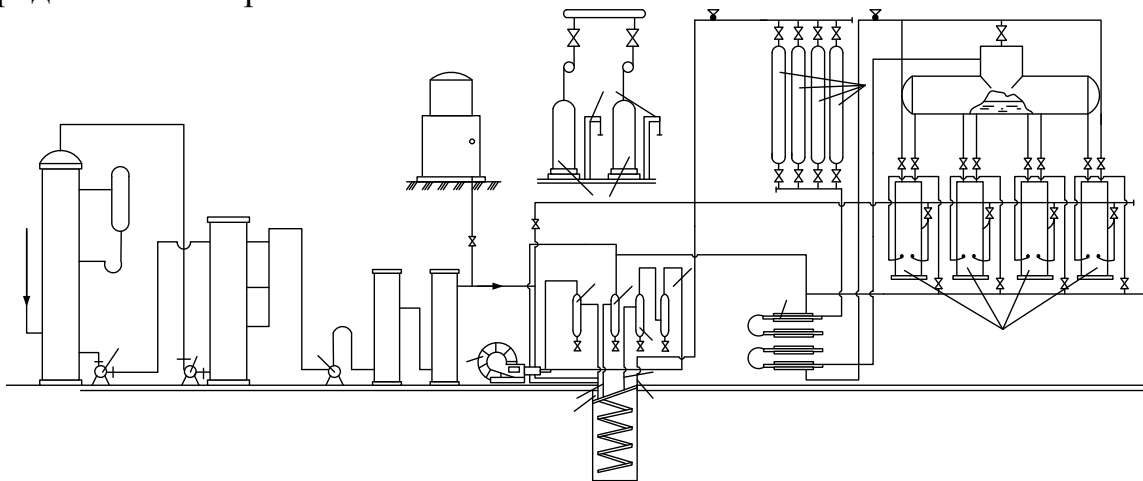


Рис. 9.8 Схема отримання вуглекислоти і сухого льоду з газу метантенків: 1 – поглинальна башта; 2 – сепаратор; 3 – водяна турбіна; 4 – дегазатор; 5 – центробіжний насос; 6 – вакуум-насос; 7 – очищувальні колонки; 8 – газгольдер; 9 – вуглекислотний компресор; 10 – охолоджувач I ступеня; 11 – охолоджувач II ступеня; 12 – переохолоджувач; 13 – конденсатор; 14 – масловідділювач I ступеня; 15 – масловідділювач II ступеня; 16 – масловідділювач III ступеня; 17 – фільтр високого тиску; 18 – стапельні балони (вісіш штук); 19 – медичні ваги; 20 – вуглекислотні балони; 21 – теплообмінник; 22 – проміжна ємність; 23 – льодогенератори (чотири штуки).

Для виділення вуглекислоти з метану застосовують розчин поташу з концентрацією 138 г на 1 л, нагрітий до $114\text{--}120^\circ\text{C}$, з додаванням гострої пари. Газ при цьому виділяється з розчину й разом з більшою кількістю вологи надходить у холодильник, де пари води охолоджуються. Надалі чиста вуглекислота при температурі $30\text{--}35^\circ\text{C}$ стискується триступінчастим компресором до $6\text{--}7,5 \text{ МПа}$, перетворюючись у рідку вуглекислоту. Для

переведення її в тверду вуглекислоту необхідно знизити тиск із 7,5 до 0,53-0,55 МПа.

Зниження тиску здійснюється кількома шаблями. Під тиском 0,8 МПа рідину наливають у форми і одержують сухий лід у вигляді блоків різної маси.

Розглянемо, наприклад, невелику очисну станцію на 100 тис. чоловік продуктивністю 25 тис. м³/доба. Очисні споруди затримують 125 м³ осадів за добу з вологістю 95%. У результаті зброджування осадів у метантенках одержимо 1500 м³ газу (з розрахунку 12 м³ газу з 1 м³ осаду). Приймаючи вміст у газі 65% метану і близько 30% вуглекислоти, будемо мати 975 м³ метану і 450 м³ вуглекислоти. Маса вуглекислоти при $\gamma=1,8$ кг/м³ дорівнює 800 кг.

При необхідності використовувати вуглекислоту, одержувану при згорянні метану, теоретично можна одержати ще 3000 кг вуглекислоти, а всього 3800 кг. Тому що на виробництво 1 кг сухого льоду потрібно 2 кг вуглекислоти, то із усього її кількості можна одержати 1,9 т сухого льоду в добу, або 684 т за рік. З 800 кг вуглекислоти виходить 400 кг сухого льоду в добу, або 144 т за рік.

Рідка вуглекислота застосовується при електрозварюванні, у пожежній техніці, для газування вод і напоїв. Сухий лід використовується для охолодження харчових продуктів, у медицині й т.д.

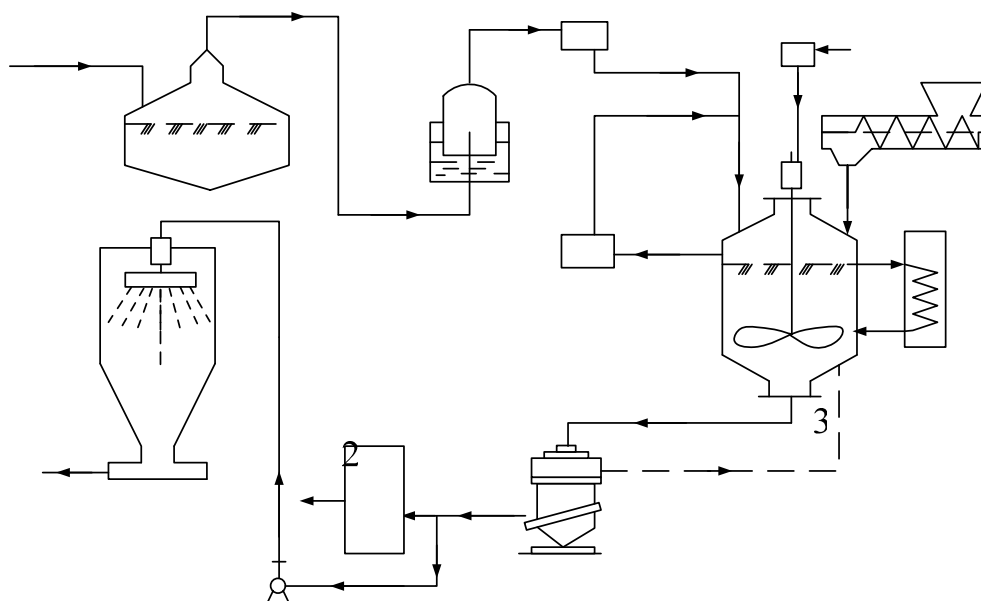
9.4.1 Використання біогазу з метою одержання кормового білка

В якості сировини використовуються не самі осади (рис. 9.9), а біогаз, одержуваний у результаті зброджування осадів у метантенках. На відміну від природного газу в біогазі практично відсутні інгібітори процесу, що дозволяє використовувати біогаз безпосередньо в біосинтезі, минаючи складні й дорогі операції очищення природного газу від важких вуглеводнів, газів меркаптанового ряду та інших супутніх компонентів.

Біогаз перетворюється в білково-вітамінний концентрат за допомогою аеробних метаноокислювальних бактерій, життєдіяльність яких підтримується у ферментері при подачі повітря в співвідношенні з біогазом 2:1. Крім того, у ферментер подають мінеральні компоненти живлення.

Процес мікробіологічного окислювання проводиться при температурі 37–45°C і рН = 5,5-7. Після ферментації культуральну рідину розділяють на центрифугі, доводячи щільність біомаси до 48 г/л. Просвітлену культуральну рідину направляють назад у ферментер, а згущену біомасу піддають плазмолізу при температурі 90°C. У результаті цього бактерії припиняють свою життєдіяльність і біомаса в рідкому виді може бути використана як білкова добавка в корм тварин і птахів. Цей білковий кормовий продукт, отриманий із біогазу, має наступний склад (% по сухій речовині):

Сирий протеїн	65-70	метіонін	2,5
лізин	7	Інші амінокислоти	До 10
жир	5	Нуклеїнові кислоти	До 10



4

Рис. 9.9 Технологічна схема переробки біогазу з одержанням кормового білка: 1 – метантенк; 2 – подача осаду; 3 – біогаз; 4 – газгольдер; 5 – конденсаційна очистка; 6 – ферментер; 7 – блок очистки і нормалізації біогазу; 8 – дозатор; 9 – подача мінеральних добавок; 10 – подача повітря; 11 – фільтр; 12 – охолоджувач; 13 – культурна біомаса; 14 – центрифуга; 15 – культурна освітлена рідина; 16 – ущільнена біомаса; 17 – плазмолізатор; 18 – білковий продукт в кормовий цех; 19 – насос; 20 – розпилювальна сушарка; 21 – сухий готовий продукт на склад.

Розрахунки показують, що з біогазу, одержуваного при зброджуванні 1 м^3 осаду вологістю до 96%, може бути отримано 0,8–1,2 кг білка, що еквівалентно в кормовому відношенні 12 кг зерна. Така кількість білкового корму виходить при подачі у ферментер звичайного повітря, при якому бактеріями засвоюється не більше 30% метану, що втримується в біогазі. Для підвищення використання біометану застосовується рециркуляція газової фази з подачею в середовище культивування повітря, збагаченого киснем (до 40%), або технічного кисню. У цьому випадку біометан використовується до 90–100% і вихід білкового продукту може скласти з 1 м^3 збродженого осаду 2–2,5 кг.

16

Отже, зброджування в метантенках осадів міських й агропромислових стічних вод з використанням біогазу як кормового білка має ряд переваг. Зокрема, тут поряд з використанням збродженого осаду як органічного добрива, є можливість одержати кормовий білок з біогазу, вільного від шкідливих сполук і токсинів.

Підрахунки показують, що якщо, наприклад, для очисної станції продуктивністю по воді в 1 млн. м³ за добу утилізувати 80–85% виділеного біогазу на власні теплові потреби, то, використовуючи залишки біогазу 15–20% для одержання кормового білка, очисна станція одержить економічний ефект у сумі 6–7 млн. грн. за рік.

9.4.2 Перспективи хімічного використання газу метантенків

На рис. 9.10 показані продукти, які можуть бути отримані на базі природного газу. Нижче коротко викладаються методи одержання деяких хімічних продуктів залежно від того або іншого способу обробки метану.

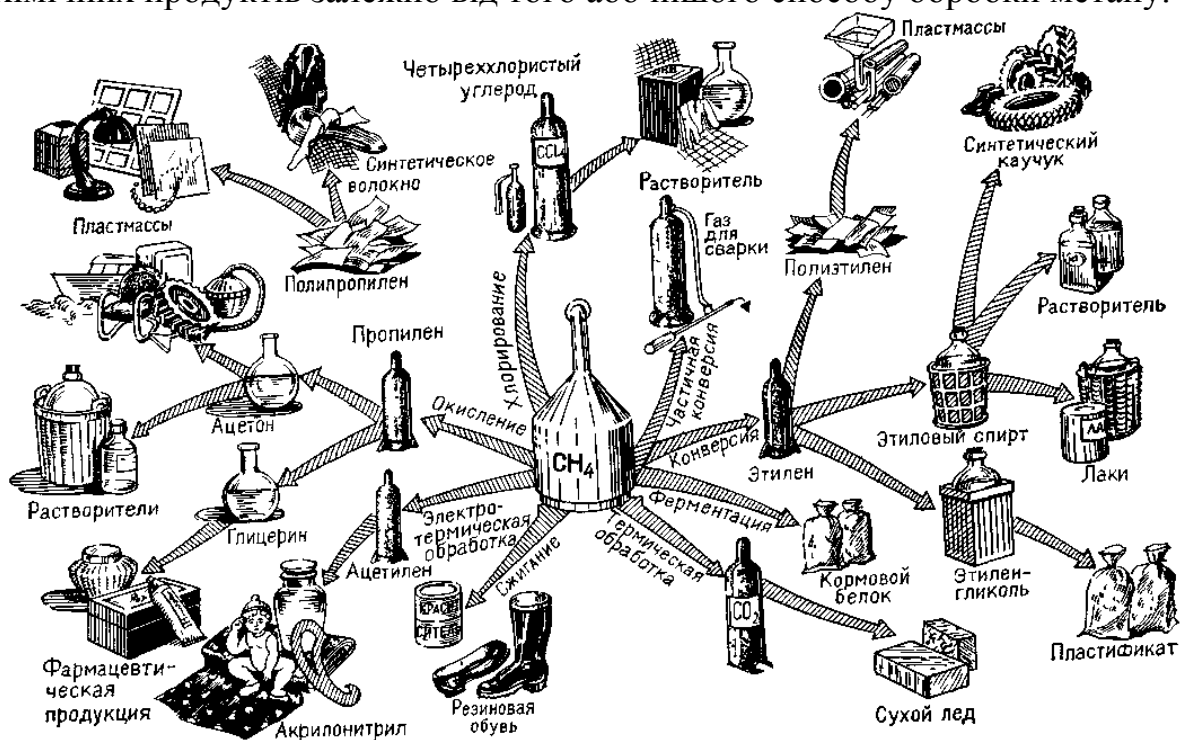


Рис. 9.10 Продукти хімічної переробки метану.

Спалювання. При неповному спалюванні метану залишається 3–7% високоякісної сажі, що застосовується як барвник і сировина для гумової промисловості.

Електротермічна обробка. При пропусненні метану через вольтову дугу або при іонізації газу за допомогою струму високої напруги й великої частоти утвориться ацетилен: 1 м³ чистого метану може дати 340 л ацетилену, що широко застосовується як вихідна сировина для одержання оцтової кислоти, а також цінних негорючих розчинників (трихлоретилену) і навіть синтетичного каучуку (хлоропрен, дюпрен). Одержання зазначених продуктів за умови технологічної їхньої доробки можливо лише при наявності дешевої електроенергії і великих запасів газу.

Окислення. При пропусненні суміші метану з повітрям через нагріті до 500°C трубки з каталізатором частково утворюється формальдегід, що у вигляді 40%-ного водяного розчину формаліну являє собою дефіцитний

продукт для одержання ацетону, а отже, бакеліту, карболіту, альбумінових і пластичних мас. Окислюванням метану можна також одержати метиловий спирт, окис вуглецю, водень та інші похідні.

Хлорування. Метан при температурі 200–400°C добре реагує із хлором, утворюючи при цьому хлористий метан, метилен, хлороформ і чотирьох-хлористий вуглець, залежно від кількості застосовуваного хлору. Ці продукти широко використовуються в промисловості синтетичних барвників при виготовленні фармацевтичних препаратів і виробництві холодильних машин. Також, чотирьох-хлористий вуглець є винятково сильним засобом для гасіння пожеж і як розчинник в гумовій промисловості. Є цілком рентабельним одержання чотирьох-хлористого вуглецю з газу метантенків на великих очисних станціях: з 1000 м³ неочищеного газу можна одержати 5,2 т чотирьох-хлористого вуглецю і 0,82 т хлороформу. Для великої очисної станції, що виділяє 50 тис. м³ газу за 1 добу, дохід від виробництва чотирьох-хлористого вуглецю орієнтовно може досягти 40 млн. грн. у рік.

Конверсія. При конверсії з одного об'єму метану можна одержати два об'єми водню. Процес конверсії протікає при нагріванні метану до температури 1000-1100°C, а в присутності каталізатора і при більш низькій температурі. У цьому випадку метан розчеплюється на водень і вуглець. Із суміші окису вуглецю з воднем можна одержати метиловий і етиловий спирти та інші продукти, у тому числі газ для зварювання, розчинники, синтетичний каучук, лаки.

Термічна обробка. Цим способом можна одержати рідке паливо у вигляді бензолу та інших хімічних продуктів, однак він менш вигідний у порівнянні з електрохімічною обробкою. Одним з побічних продуктів термічної обробки є вуглекислота, яку доцільно використовувати для одержання сухого льоду.

Контрольні запитання

1. Дайте характеристику утилізації осадів стічних вод промислових підприємств.
2. Дайте характеристику утилізації осадів стічних вод целюлозно-паперової промисловості.
3. Проаналізуйте технологічні процеси використання осадів стічних вод легкої промисловості.
4. Поясніть використання активного мулу і інших відходів стічних вод в якості кормового продукту для комбікормової промисловості.
5. Опишіть технологічні процеси використання газу метантенків.
6. Проаналізуйте використання біогазу з метою одержання кормового білка.
7. Дайте характеристику напрямкам хімічного використання газу метантенків.

Розділ 10. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ОСАДІВ

10.1. Вибір методу й технологічної схеми обробки осадів

Розмаїтість складу стічних вод, особливо стічних вод промислових підприємств, визначає необхідність індивідуального підходу до питань обробки й утилізації осадів. Однак для більшості об'єктів, зокрема для локальних очисних споруд окремих підприємств, доцільне застосування комплексних установок обробки осадів у блоковому виконанні й типових проектах для їхньої прив'язки.

Вибір методу й технологічної схеми обробки осадів повинно здійснюватись на підставі техніко-економічних обґрунтувань із обліком конкретних місцевих умов, властивостей осадів, забезпеченості реагентами, паливом і технологічним транспортом, можливості й ефективності утилізації переробленого осаду й т.п.

Основними фізико-хімічними показниками, на підставі яких здійснюється вибір технологічної схеми, підбір устаткування й визначення параметрів і режиму роботи, є: водовіддача осаду (питомий опір, індекс центрифугування), стисненість при зневоднюванні, хімічний склад, теплофізичні характеристики й характеристики по пожежо- і вибухонебезпечності.

Вивчення властивостей конкретних осадів здійснюється з урахуванням співвідношення в суміші осаду первинних відстійників й активного мулу й зміни властивостей осадів при їхній підготовці до зневоднення, термічного сушіння й спалювання.

Капітальні й експлуатаційні витрати залежать від місцевих умов і таких показників, як тариф на електроенергію, паливо, реагенти, кількість і доза реагентів, ступінь зневоднювання осаду й ін.

У зв'язку з підвищеними значеннями питомого опору зброджені осадки вимагають більш глибокої попередньої обробки й зневоднюються гірше, ніж сирі. При використанні одержуваного при сброджуванні осаду метану в ряді випадків можна покрити частину витрат, затрачених на енергетичні потреби, що для середніх і великих станцій аерації при задовільному сброджуванні осадів може виявитися економічно вигідним.

Розрахункові формули й графіки дозволяють визначати залежно від значення питомого опору й індексу центрифугування осадів кількість води для промивання зброджених осадів, дози хімічних реагентів для коагуляції осадів, очікуване навантаження на мулові площадки, продуктивність вакуум-фільтрів, центрифуг і фільтр-пресів, а також оптимальні режими їхньої роботи. Установлено, що чим нижче показник стискальності осаду (при рівному питомому опорі), тим більший тиск буде потрібно для зневоднення осаду.

Застосування інтенсивних режимів й апаратів для термічного сушіння з високими швидкостями й температурами сушильного агента вимагає обліку кінетики сушіння осадів і форм зв'язку вологи із твердими частками. Для організації процесів термічного сушіння й спалювання осадів і складання теплового балансу необхідно також вивчення теплофізичних показників осадів. Для вибору методу утилізації перероблених осадів варто знати їхній хімічний склад, у тому числі наявність токсикантів, важких металів й інших домішок.

Зіставлення методів й апаратів для механічного зневоднювання осадів (табл. 10.1) показує, що кожний з них має певні переваги й недоліки. При виборі апаратів для зневоднювання осадів стічних вод велике значення має вв'язування їхніх параметрів і режиму роботи з усією технологічною схемою обробки й утилізації осадів, а також з роботою споруд по очищенню стічних вод. Наприклад, якщо стічні води містять значна кількість піску і є можливість використання як реагенту меленого вапна, у вигляді вапняного молока, тіста або карбідного мулу і якщо при цьому осади після зневоднювання потрібно піддавати термічному сушінню, а застосування їх як добрив планується на кислих ґрунтах, то для зневоднювання раціонально застосовувати вакуум-фільтри.

Якщо зневоднюванню піддається зброжений у термофільних умовах осад з наступною утилізацією як добриво, то доцільно застосовувати центрифуги або стрічкові фільтр-преси із флокулянтами. Центрифуги й стрічкові фільтр-преси ефективно застосовувати також на очисних спорудах із пропускною здатністю до 100 тис.м³/доб з наступним компостуванням або хімічним знезаражуванням зневодненого осаду. Якщо застосовується тепла обробка осаду перед його зневоднюванням або спалювання зневодненого осаду, то для зневоднювання осадів доцільно застосовувати камерні або рамні фільтр-преси.

Зважаючи те, що апарати для обробки осадів, особливо для термічного сушіння, є енергоємними, нами проведено зіставлення енергетичних витрат для обробки осадів різними методами (табл. 10.2).

Таблиця 10.1 Зіставлення методів механічного зневоднювання осадів стічних вод

Апарати для зневоднювання	Основні переваги	Основні недоліки
Вакуум-фільтри	Можливість обробки осадів без виділення піску й поширення запаху; скорочення паливно-енергетичних витрат на термосушку; відсутність швидкозношуваних вузлів	Застосування мінеральних реагентів, вакуум-насосів; періодичні заміни фільтрувальної тканини, підвищена витрата електроенергії

Центрифуги	Компактність установок, можливість роботи по безреагентним схемам із застосуванням флокулянтів	Необхідність добування з осадів великих включень і піску, періодичного наплавлення або заміни шнеків; підвищені в порівнянні з вакуум-фільтрами паливно-енергетичні витрати на термосушку
Стрічкові фільтр-преси	Відсутність швидкозношуваних деталей і вузлів; скорочення витрат електроенергії; відсутність необхідності виділення великих включень і піску з осадів	Підвищені габарити в порівнянні із центрифугами; можливість поширення запаху; збільшені в порівнянні з вакуум-фільтрами паливно-енергетичні витрати на термосушку; необхідність періодичної заміни фільтрувальної тканини
Камерні й рамні фільтр-преси	Низька вологість зневодненого осаду й паливно-енергетичні витрати на термосушку й спалювання	Низька питома продуктивність (з одиниці поверхні); підвищена витрата реагентів; періодичність дії; необхідність заміни зношеного фільтрувального полотна.

Таблиця 10.2 Витрата електричної і теплової енергії на механічне зневоднювання і термічне сушіння осадів

Пропускна здатність станцій аерації, тис. м ³ /доб	Вид обробки осадів, застосовуване обладнання	Число робочих і резервних апаратів	Приблизні річні витрати	
			електроенергії, млн. кВт·год	теплоти, млн. кДж (млн. ккал)
70 – 100	Центрифугування	8+2	1,7	7000 (1680)
50 – 70		6+2	1,3	6100(1450)
35 – 50		4+2	1,0	5000(1200)
140–200	Вакуум-фільтрація	3 + 1	1,6	8800 (2100)
200–280		4+2	2,0	11700(2800)
200–280	Фільтр-пресування	6+2	2,3	11700(2800)
25–50	Стрічкові фільтр-преси	3+1	0,6	3000(700)
–	Аеробні мінералізатори довжиною 30 м.	1	1,1	113000(27000)
	Те ж, довжиною 60 м	1	2,3	
100–140	Термосушка із сушаркою із зустрічними, струменями типу СВС-3,5-5	1	1,5–3,2	
100–140	Барабанна сушарка на 5 т/год по випаруваній волозі	1	2,1	

При визначенні необхідної кількості теплоти й електроенергії прийнята цілодобова робота всіх робочих апаратів; при визначенні витрати енергії враховані потреби на допоміжне устаткування (насоси, конвеєри), опалення й освітлення будинків, вентиляцію й т.п.

Істотне скорочення паливно-енергетичних витрат на знешкодження осадів досягається біотермічною обробкою осадів з наповнювачами, а також спільною їхньою обробкою із твердими побутовими відходами:

спільною біотермічною обробкою твердих побутових відходів і механічно зневоднених осадів стічних вод; спалюванням твердих побутових відходів з використанням теплоти для термічного сушіння й знешкодження осадів стічних вод.

Попередньо зневоднені осади можуть розглядатися як один з видів твердих побутових відходів. Їхня спільна обробка із твердими побутовими відходами інших видів на спеціалізованих міських комунальних підприємствах, зблокованих з очисними станціями, дозволить сконцентрувати обробку всіх специфічних міських забруднень в одному промисловому районі, використати надлишкову скидну теплоту сміттєспалювальних заводів для обробки осадів, одержувати оброблені відходи одного виду замість двох, що полегшить їхню утилізацію.

Спільна переробка зазначених компонентів має істотні переваги перед роздільною: поряд зі скороченням паливно-енергетичних витрат скорочуються капітальні й експлуатаційні витрати, необхідні площі й число обслуговуючого персоналу, при цьому поліпшується якість компосту й охорона навколишнього середовища.

Частина енергії, необхідної для обробки осадів, може покриватися за рахунок одержання її безпосередньо з осадів. Основним джерелом одержання енергії з осадів стічних вод є органічні речовини, що втримуються в них. У цей час в нашій країні і за рубежом в основному застосовуються й удосконалюються наступні напрямки обробки осадів з використанням органічних речовин:

- одержання газів шумування (метану) з метою використання їх для технологічних потреб станцій аерації;
- одержання теплоти при спалюванні осадів для використання її в процесах обробки осадів;
- проведення процесу біотермічного розкладання з метою знешкодження осадів й одержання компосту для добрива;
- утилізація осадів в якості добрив.

Названі процеси можуть застосовуватися як самостійно, так й у сполученні один з одним. Однак, в будь-якому випадку відзначається споживання органічних речовин осадів. Тому вибір методу використання органічних речовин осадів повинен ґрунтуватися на техніко-економічних показниках, що враховують, крім капітальних й експлуатаційних витрат, склад і властивості осадів, можливість і умови їхньої утилізації з одержанням максимальної кількості енергії [2-5].

Максимально можливе зброджування беззольної речовини осадів з первинних відстійників становить 53%, а надлишкового активного мулу - 44%. При співвідношенні осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу по масі сухої речовини 1:1, вологості суміші 96% і вмісті в зброджуваній суміші 70% органічних речовин по масі сухої речовини, добовій дозі завантажування в метантенках суміші для мезофільного

процесу 9% і термофільного 18% максимальний розпад органічних речовин складе відповідно 43,5 й 44,2%.

Кількість газу, одержуваного при зброджуванні, становить 0,7–1 кг на 1 кг беззольної речовини, що розпалася. Реальний розпад беззольної речовини залежить від хімічного складу осадів і його гальмуючої дії на мікроорганізми. Якщо прийняти розпад беззольної речовини для мезофільного режиму 40%, а термофільного – 40,5%, то при вмісті в 1 м³ суміші осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу 40 кг сухої речовини або 28 кг беззольної речовини вихід газу складе при мезофільному режимі 11,2 кг, а термофільному – 12,6 кг, або відповідно на 1 м³ зброджуваної суміші осаду й активного мулу 11,2 й 12,6 м³. Склад газу, одержуваного при зброджуванні: метан 60–70%; двоокис вуглецю 16–34%; азот, водень, кисень 0,4–6%. Теплота згоряння газу в середньому становить 21 МДж/м³.

Для здійснення процесу метанового зброджування осадів на нагрівання вмісту метантенків необхідно витратити теплоти на 1 м³ осаду:

для мезофільного режиму

$$1,1 \cdot 5,67(33-16) \approx 106 \text{ МДж};$$

для термофільного режиму

$$1,1 \cdot 5,67(53-16) \approx 230 \text{ МДж},$$

де 1,1 – коефіцієнт, що враховує тепловтрати; 5,67 – кількість теплоти, МДж, що витрачається на нагрівання 1 м³ осаду гострою парою на 1°C; 33 й 53 – температура відповідно мезофільного й термофільного режимів, °C; 16 – температура вихідного осаду, °C.

При одержуваній кількості газу надлишок теплоти на 1 м³ осаду складе:

для мезофільного режиму

$$11,2 \cdot 21 - 106 = 129 \text{ МДж};$$

для термофільного режиму

$$12,6 \cdot 21 - 230 \approx 35 \text{ МДж}.$$

Кількість органічних речовин у зброженому осаді в мезофільних умовах скоротиться на 11,2 кг і складе 16,8 кг. В зброженому у термофільних умовах осаді кількість органічної речовини скоротиться на 12,6 кг і складе 15,4 кг.

Найвища теплота згоряння горючої маси осадів міських стічних вод Q_v становить 23,4–26,9 МДж/кг. Для більшості осадів міських стічних вод вміст органічних речовин коливається від 65 до 72% маси сухої речовини. Як видно з рис. 10.1 теплота згоряння горючої маси найбільш висока в сирого осаду з первинних відстійників, найменша – в активного мулу, зброжена суміш займає проміжне положення (кількість органічної речовини в ній визначається з урахуванням розпаду при зброжуванні). При вмісті в 1 м³ суміші осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу 40 кг сухої речовини або 28 кг беззольної речовини в

процесі спалювання останнього може бути отримано $28 \times 25,5 = 714$ МДж теплоти. Спалювання зброженого у мезофільних умовах залишку осаду беззольної речовини дає лише $16,8 \cdot 23,5 = 395$ МДж теплоти. Загальна кількість теплоти, одержуваної при спалюванні газу метану й органічних речовин, що втримуються в осаді, складе $129 + 395 = 524$ МДж. При термофільному режимі загальна кількість теплоти складе $35 + 15,4 \cdot 23,5 = 397$ МДж.

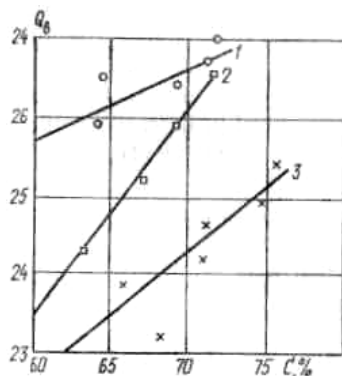


Рис. 10.1 Залежність теплоти згоряння Q_B горючої маси осадів від їхнього типу і вмісту органічних речовин C : 1 і 2 для - сирого і зброженого осаду; 3 - для активного мулу.

Звідси випливає, що спалюванню доцільно піддавати сирі незброжені осади, а теплоту, одержувану при зброджуванні осадів у метатенках, раціонально використовувати на технологічні потреби станцій аерації, зокрема, при мезофільному зброджуванні для покриття частини споживаного газу при термічному сушінні механічно зневоднених осадів стічних вод.

Для термічного сушіння осадів у сушарках із зустрічними струменями витрачається 3,4–3,9 МДж теплоти і 0,02–0,06 кВт·год електроенергії на 1 кг випаровуваної вологи. Тому термічному сушінню повинні піддаватися механічно зневоднені осади. Для термічного сушіння 1 м^3 механічно зневодненої суміші осаду з первинних відстійників й активного мулу вологістю 76–80% потрібно витратити теплоти 2000–2600 МДж і електроенергії 12–40 кВт·год або на 1 м^3 вихідної суміші – 300–400 МДж теплоти і 2–5,6 кВт·год електроенергії. Чим менше вологість механічно зневоднених осадів, тим менші загальні енергетичні витрати (рис. 10.2).

Як приклад нижче розглянуті дві технологічні схеми обробки суміші з первинних відстійників і ущільненого надлишкового активного мулу із застосуванням термічного сушіння для станції аерації пропускною здатністю 100 тис. $\text{м}^3/\text{доб}$ при зневоднюванні на барабанних вакуум-фільтрах з полотном, що сходить, або на осаджувальних шнекових центрифугах із застосуванням флокулянтів. Кількість суміші вологістю

96% – 800 м³/доб; вологість зневодненої на вакуум-фільтрах суміші – 76%. Об'єм зневодненого осаду, м³, визначається за формулою

$$V_2 = V_1(C_1/C_2) = 800(4/24) = 133 \text{ м}^3,$$

де V_1 – об'єм вихідного осаду, м³; C_1 і C_2 – концентрації речовини вихідного і зневодненого осаду, %.

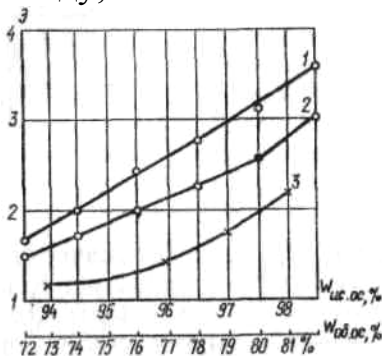


Рис. 10.2 Залежність відносної витрати енергії E від вологості вихідного $W_{\text{вих.осад}}$ і зневодненого $W_{\text{знев.осад}}$ для станції аерації пропускною здатністю 100 тис.м³/доб: 1 – електричної на термосушку; 2 – теплової на термосушку; 3 – електричної на зневоднювання.

Об'єм термічно висушеного осаду вологістю 40% складе 53 м³. У процесі термічного сушіння необхідно випарувати $133 - 53 = 80$ м³ вологи і витратити $80 \cdot 1000 \cdot 3,9 = 312000$ МДж теплоти і $80 \cdot 0,03 \cdot 1000 = 2400$ кВт·год/доб електроенергії. Вологість суміші, зневодненої на центрифугах з обробкою флокулянтном, – 82%; об'єм зневодненого осаду – 180 м³. У процесі термічного сушіння потрібно випарувати $180 - 53 = 127$ м³ вологи, на що необхідно витратити $127 \cdot 1000 \cdot 3,9 = 495000$ МДж теплоти і $127 \cdot 0,03 \cdot 1000 = 3800$ кВт·год/доб електроенергії, тобто майже в 1,6 рази більше, ніж при вакуум-фільтрації.

Використання для термічного сушіння метану, отриманого при збродженні суміші в мезофільних умовах, дозволить для станції аерації пропускною здатністю 100 тис. м³/доб скоротити потреби теплоти на $129 \cdot 800 = 103200$ МДж/доб. Високі енергетичні витрати на термічне сушіння можуть істотно скорочуватися при спалюванні осадів.

При спалюванні органічної речовини осадів, можна одержати значну кількість теплоти. Однак більша частина її витрачається на випаровування вологи, підігрівання повітря й тепловтрати, тому при спалюванні можна покрити лише частину теплоти, необхідної для термічного сушіння осадів (при спалюванні сирих осадів – до 70%), зброджених до – 30% загальної потреби). При вологості осаду 70% для спалювання потрібно 52 кг умовного палива на 1 м³ осаду, тобто 1500 МДж. Теплота згоряння робочої маси становить 3,3 Мдж/кг. Загальна кількість одержуваної теплоти при ККД устаткування 70% становить $(1500 + 3300) \cdot 0,7 \approx 3300$

Мдж. При утилізації одержуваної теплоти на спалювання осаду припадає загальної кількості одержуваної теплоти на $3300-1500=1800$ МДж.

При вологості осаду 80% для спалювання потрібно 150 кг умовного палива на 1 м^3 осаду, тобто 4400 МДж. Теплота згоряння робочої маси осаду 1,5 Мдж/кг. При спалюванні осаду з додатковим паливом одержуємо $(4400+1500) \cdot 0,7 \approx 4100$ МДж. Отже, для спалювання осаду вологістю 80% потрібно затратити на $4400-4100=300$ МДж теплоти більше, ніж може бути отримано при його утилізації. При спалюванні механічно зневодненої термічно висушеної сирової суміші осаду й активного мулу в циклонних печах автотермічність процесу (проведення процесу термосушки й спалювання без додаткової витрати палива) може бути досягнута при вологості механічно зневодненої суміші 64%. При збільшенні вологості зневодненої суміші потрібна відповідна витрата енергії на випаровування вологи.

У процесі компостування осадів протікає біотермічний процес, що супроводжується споживанням органічних речовин і підвищенням температури до $50-72^\circ \text{C}$, що призводить до знешкодження й скорочення маси осадів. Кількість органічних речовин при цьому скорочується в середньому на 25%. При зберіганні компосту процес розпаду органічних речовин триває (1 кг органічної речовини при розпаді виділяє в середньому 21 МДж теплоти). З урахуванням тепловтрат і нагрівання матеріалу на випаровування 1 кг вологи потрібно затратити в середньому 4 МДж теплоти. Таким чином, при розкладанні 1 кг органічної речовини з осаду виділяється 5 кг вологи; крім того, частина вологи з осаду виділяється за рахунок природного випаровування. Загальна кількість вологи, що видаляється з осаду, залежить від кліматичних факторів, сезону газу, розмірів штабелів, тривалості компостування, періодичності перелопачування і т.п.

При видаленні вологи з осаду можна одержувати готовий компост вологістю 45-50%, а за рахунок зниження вологості й розпаду органічних речовин можна в 2 рази зменшити його об'єм, внаслідок чого скорочуються транспортні витрати на перевезення.

Компостуванню доцільно піддавати зневоднені сирі осади, тому що вони містять більшу кількість органічних речовин, чим анаеробно зброджені або аеробно стабілізовані.

Утилізація осадів стічних вод і компосту в якості добрив дозволяє використати органічні речовини для росту рослин і структуроутворення ґрунтів. Якщо розглядати осади як органічні добрива, то по наявності органічних речовин на першому місці – сирі осади, після компост і потім зброджені осади. Однак, при внесенні осадів на поля враховується не кількість органічних речовин, а норми їх внесення, м^3 , тому про ефективність органічної речовини осаду судити важко.

Технологічні схеми обробки осадів повинні забезпечувати можливість максимального зниження вологості при мінімальних витратах. Це досягається одержанням й обробкою вихідної суміші осаду й активного мулу з низькими значеннями питомого опору. Обробка осадів з низькими значеннями питомого опору дозволяє не тільки інтенсифікувати процеси їхнього зневоднювання, але й скоротити паливно-енергетичні витрати на весь комплекс обробки, знешкодження й утилізацію осадів.

У табл. 10.3 наведені порівняльні характеристики методів знезаражування механічно зневоднених осадів стічних вод. На великих станціях аерації доцільно застосування термічне сушіння механічно зневоднених осадів, що дозволяє скоротити транспортні витрати й одержати добриво з осадів у вигляді сипучих матеріалів. Для скорочення паливно-енергетичних витрат на станціях аерації пропускною здатністю до 20 тис. м³/доб ефективно застосування камер дегельмінтизації, а до 50 тис. м³/доб – методів хімічного знезаражування. У випадках, коли осад не підлягає утилізації як добриво, може застосовуватися спалювання в циклонних печах з використанням одержуваного тепла. Скорочення паливно-енергетичних і транспортних витрат досягається при застосуванні методів біотермічної обробки (компостування) механічно зневоднених осадів.

Наведені рекомендації дозволяють виконати аналіз технологічних схем і вибрати методи обробки осадів. Однак, остаточний вибір методу обробки осадів повинен базуватися на техніко-економічних розрахунках обраних варіантів обробки осадів.

В основу наведених нижче прикладів техніко-економічних розрахунків покладені технологічні параметри, отримані при експлуатації працюючих установок і споруд, а також діючі нормативи. Для порівняння обрані наступні варіанти обробки осадів.

1. Зброджування суміші осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу в термофільних умовах з наступним підсушуванням на мулових площадках із природною основою.

2. Зброджування суміші осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу в мезофільних умовах зі зневоднюванням зброженої суміші на барабанних вакуум-фільтрах і наступній термічній обробці.

3. Зневоднювання суміші сирого осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу на барабанних вакуум-фільтрах з наступною термічною обробкою.

4. Центрифугування осаду первинних відстійників й ущільненої аеробно-стабілізованої суміші фугата з активним мулом з наступною термічною обробкою зневодненої суміші.

5. Центрифугування осаду первинних відстійників (зі скиданням фугату в головні очисні споруди) і активного мулу з використання фугата

для очищення стічної рідини в аеротенках, з наступною термічною обробкою зневодненої суміші.

При порівнянні варіантів не враховувалися витрати на будівництво й експлуатацію первинних і вторинних відстійників, мулоушільнювачів й інших ідентичних для всіх варіантів споруд, а також споруд, що не входять у технологічні процеси обробки осаду. Не враховувався також прибуток, одержуваний при утилізації осадів в якості органічного добрива.

Таблиця 10.3 Порівняльна характеристика методів знезаражування механічно зневоднених осадів стічних вод (вологістю 70-80%)

Процес	Витрата теплоти, МДж/м ³ зневодненого осаду	Вологість після обробки, %	Основні переваги методу	Основні недоліки методу	Краща область застосування
Обробка в камерах дегельмінтизації	500–700	60–70	Простота експлуатації, невисока витрата палива	Відносно високі вологість і вартість транспортування осаду	Підприємства по очищенню стічних вод пропускною здатністю до 20 тис. м ³ /доб
Термічне сушіння в сушарках із зустрічними струменями	1900–2800	35–40	Скорочуються транспортні витрати, спрощується утилізація як добрива, так і палива	Висока витрата палива, потреба у кваліфікованому персоналі, необхідність очищення газів, що відходять	Те ж, пропускною здатністю більше 100 тис. м ³ /доб
Хімічне знезаражування		70–80 (після обробки вапном 55-65%)	Підвищується вдобрювальна цінність осаду, скорочуються паливно-енергетичні витрати	Потрібні реагенти (гіазон, аміак, негашене вапно), високі вологість і вартість транспортування осаду (при обробці гіазоном або аміаком)	Підприємства по очищенню стічних вод пропускною здатністю до 50 тис. м ³ /доб при транспортуванні до 20 км і наявності реагенту
Біотермічна обробка (компостування в штабелях)		45–50	Скорочуються паливно-енергетичні і транспортні витрати, готується якісне добриво	Необхідність облаштування площадок з водонепроникним покриттям і застосування наповнювачів (побутових відходів, готового компосту, торфу, струшки і т.п.)	Те ж, пропускною здатністю до 200 тис. м ³ /доб
Спалювання в циклонних печах з використанням одержуваної теплоти	Від –300 до +1800		Значне скорочення транспортних витрат, можливе отримання додаткової енергії	Необхідність ефективного очищення газів, що відходять, потреба у кваліфікованому персоналі	Підприємства по очищенню стічних вод при відсутності споживачів добрив із осадів і високої токсичності осадів

Економічна ефективність варіантів визначалася за типовою методикою визначення економічної ефективності капіталовкладень. Приведені витрати $C_{прив.}$ розраховувалися за формулою

$$C_{прив.} = C + E_H K, \quad (102)$$

де C – експлуатаційні витрати, тис. грн. у рік; K – капітальні витрати, тис. грн.; E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень. Розрахункові параметри, необхідні для економічного порівняння варіантів обробки осадів, наведені в табл. 10.4.

У кожному варіанті приймалася найбільш економічна для нього термічна обробка осадів. У випадку термофільного зброджування осадів додаткова термічна обробка не передбачалася.

Таблиця 10.4 Основні дані для порівняння варіантів обробки осадів

Показники	Значення показників при пропускній здатності станції аерації, тис. м ³ /доб						
	10	20	35	50	100	160	240
Кількість осаду, т/доб по сухій речовині	3,2	6,4	11,2	17	30	45	70
Метантенки: об'єм, м ³	$\frac{400}{800}$	$\frac{800}{1600}$	$\frac{1400}{2800}$	$\frac{2000}{4000}$	$\frac{4000}{8000}$	$\frac{6400}{12800}$	$\frac{9600}{19200}$
число	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{4}{8}$
діаметр, м	$\frac{9}{9}$	$\frac{9}{12,5}$	$\frac{12,5}{15}$	$\frac{12,5}{12,5}$	$\frac{12,5}{17,5}$	$\frac{15}{20}$	$\frac{17,5}{17,5}$
Довжина напірного трубопроводу для подачі осаду на мулові площадки, км	1	1,5	2,5	3	5	6	7
Необхідна площа мулових площадок, га, при режимі зброджування:							
термофільному і навантаженні 0,8 м ³ /(м ² ·год)	4,4	8,7	15,4	21,9	43,7	70	105
мезофільному і навантаженні 1,2 м ³ /(м ² ·год)	2,9	5,9	10,2	14,6	29	46,7	70
Необхідна кількість реагентів при вакуум-фільтрації:							
а) сирій суміші, т/год: хлорного заліза (D=3%)	35	70	120	190	330	500	765
вапна (по CaO D=10%)	120	240	410	620	1200	1650	2600
б) збродженої суміші, т/год: хлорного заліза (D=5%)	37	75	130	200	360	530	830
вапна (по CaO D=12%)	130	260	460	700	1200	1800	2900
Вакуум-фільтри:							
а) для зневоднювання сирій суміші [продуктивністю 25 кг/(м ² ·год)]: число	2	2	2	2	4	3	5
тип фільтрів	БсхОУ-10	–	БсхОУ-20	БсхОУ-40	БсхОУ-20	БсхОУ-40	–
б) для зневоднювання збродженої суміші [продуктивністю 20 кг/(м ² ·год)]: число	2	2	2	2	4	3	5
тип фільтра	–	БОУ-10	БОУ-20	БОУ-40	БОУ-20	БОУ-40	–
Число ОГШ-500 при обробці ОСВ по варіанту:							
4	3	5	6	6	14	–	–
5	6	9	12	16	28	–	–

Примітка. В чисельнику наведені числа при 20%-ному завантаженні, а в знаменнику при 10%-ному завантаженні.

При порівнянні варіантів обробки осадів велике значення має правильний вибір вартості мулових площадок.

У наших розрахунках вартість мулових площадок на природній основі прийнята рівною 0,8 грн. за 1 м². Порівняння економічної ефективності обраних варіантів обробки осадів наведено на рис. 10.3. Для станцій аерації пропускною здатністю 10; 20 і 35 тис. м³/доб прийняте знешкодження зневодненого механічним шляхом осаду в камерах дегельмінтизації, для станцій аерації більшої пропускної здатності – термічне сушіння в сушарках із зустрічними струменями.

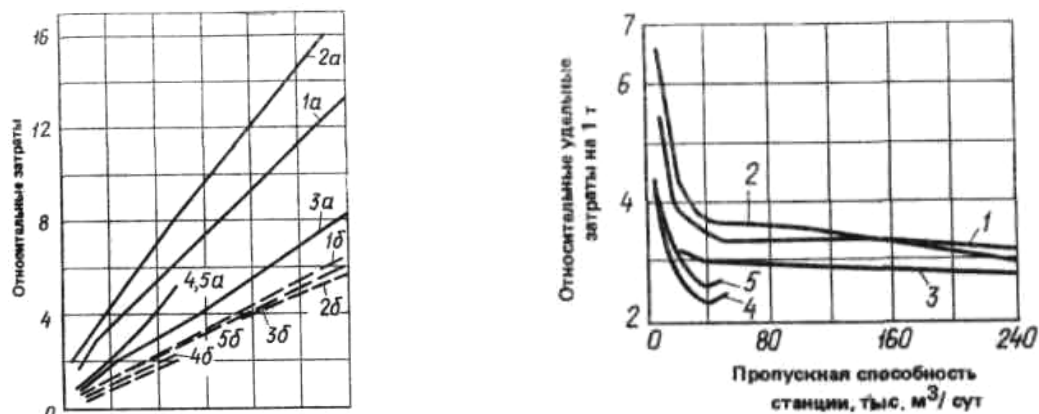


Рис. 10.3 Порівняння відносної економічної ефективності варіантів обробки осадів: 1 - термофільне зброджування суміші з підсушуванням на мулових площадках на природній основі; 2 - мезофільне зброджування суміші з вакуум-фільтрацією і термообробкою; 3 - зневоднювання сирової суміші на вакуум-фільтрах з термообробкою; 4 - центрифугування суміші осаду зі стабілізованим активним мулом і фугатом з термообробкою; 5 - роздільне центрифугування осаду й активного мулу з термообробкою (*a* - капітальні витрати; *б* - експлуатаційні витрати).

Порівняння економічної ефективності обраних варіантів обробки осадів показує, що методи центрифугування (варіанти 4 й 5) і зневоднювання сирових осадів на вакуум-фільтрах (варіант 3) є економічно найбільш доцільними. При їхньому застосуванні капітальні витрати знижуються в 1,8-2 рази при більш низьких наведених і питомих витратах. Якщо у варіанті 1 застосовуються мулові площадки на природній основі із дренажем або на штучній основі, то капітальні витрати в порівнянні з варіантами 3-5 збільшуються в 2-3,5 рази.

По експлуатаційних витратах найбільш економічним методом обробки осадів є центрифугування. Однак, як видно з рис. 10.3, застосування центрифугування осадів (варіанти 4 й 5) на станціях аерації пропускною здатністю понад 40–50 тис. м³/доб викликає різке збільшення капітальних і питомих витрат. Це пояснюється тим, що для зазначених станцій потрібна велика кількість центрифуг типу ОГШ-500 (див. табл.

10.4). Застосування великогабаритних центрифуг з більш високою продуктивністю й ефективністю затримки сухої речовини типу ОГШ-631 і ОГШ-1000 дозволяє знизити капітальні і експлуатаційні витрати, спростити обробку фугата і розширити область застосування методу центрифугування осадів.

У розрахунках прийнято, що надлишок газу, одержуваного при мезофільному зброджуванні осаду, використовується на покриття частини палива, що витрачається на термообробку осадів (варіант 2).

Розрив між приведеними й питомими витратами у варіантах 2 й 3 зі збільшенням пропускної здатності станції аерації скорочується. Для станцій аерації пропускною здатністю 200–300 тис. м³/доб і більше при виході газу 12–15 м³ на 1 м³ зброджуваного осаду й більше схема механічного зневоднювання зброджених у мезофільних умовах осадів на барабанних вакуум-фільтрах з наступним їхнім термічним сушінням й утилізацією газу є найбільш економічно ефективною. Однак, якщо вихід газу виявляється меншим, чим зазначено вище, то економічно більш вигідним є застосування механічного зневоднювання сирих осадів. При великому виході газу метантенки доцільно застосовувати на станціях середньої пропускної здатності. Фактичний вихід біогазу при зброджуванні осадів залежить від ряду факторів, основними з яких є склад осадів, тривалість процесу й температура.

Максимально можливий вихід біогазу при зброджуванні суміші осаду з первинних відстійників і активного мулу зі змістом 70% органічних речовин по масі сухої речовини і їх 50%-ному розпаді може бути визначений за рис. 10.4. Зі збільшенням концентрації сухої речовини (ущільненням, згущенням) вихід біогазу з одиниці об'єму зростає, у той час як необхідна кількість теплоти на нагрівання вмісту метантенків зростає незначно, що дозволяє використати більшу кількість біогазу на технологічні потреби станцій аерації.

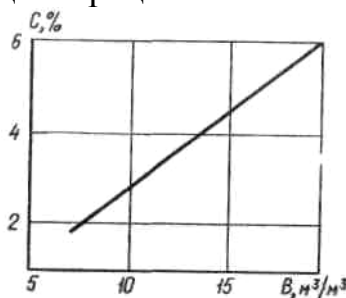


Рис. 10.4 Залежність виходу біогазу В від концентрації зброджуваної суміші осаду й активного мулу, % сухої речовини.

З рис. 10.4 видно, що питомі витрати на обробку осаду особливо високі для станцій аерації невеликої пропускної здатності. З ростом пропускної здатності станцій аерації питомі витрати знижуються. Звідси випливає, що при проектуванні необхідно розглядати можливі варіанти

об'єднання станцій аерації, розташованих поблизу, або передбачати спільну обробку осадів.

При проектуванні цехів обробки осадів поряд з технологічними питаннями повинні вирішуватися питання організації доставки, одержання і зберігання реагентів, вивезення і складування обробленого осаду та ін.

10.2. Практика застосування методів обробки осадів

Вище відзначалося, що для обробки осадів можуть застосовуватися різні схеми, у тому числі комбіновані, з різними апаратами. Розглянемо кілька прикладів застосування різних методів і технологічних схем обробки осадів. На Московських станціях аерації суміш осаду первинних відстійників й ущільненого надлишкового активного мулу зброджується в метантенках у термофільному режимі. Близько 70% зброженого осаду підсушується на мулових площадках, інша частина механічно зневоднюється на барабанних вакуум-фільтрах. Нагрівання осаду в метантенках і його перемішування здійснюються за допомогою пароструминних інжекторів. Витрата пари становить 60–66 кг на 1 м³ осаду, що завантажується. Дози добового завантаження коливаються від 14 до 18% об'єму метантенків, або 4,5–5 кг/м³ по беззольній речовині. Ступінь розпаду органічних речовин становить 43–47%, температура осаду, що завантажується - у середньому 18°C, що вивантажується – вище 50°C. Осад з первинних відстійників має середню вологість 94%, зольність 30,5%; активний мул - відповідно 97,5 й 27,6%; зброжений осад - вологість 97,5%, зольність 38,2%. Біогаз, що утворюється використовується для одержання пари в котлах ДКВР-10-13, обладнаних газовими пальниками ГА-110 з отворами діаметром 3,6 мм – для природного газу й 6 мм - для біогазу. Близько 75% пари використовується для нагрівання метантенків, інше – для опалення приміщень й одержання гарячої води в бойлерах.

Зброжений осад після підсушування на мулових площадках або механічного зневоднення за схемою на (рис. 10.5) використовується сільськогосподарськими підприємствами Московської області і лісопаркового господарства.

Скид зливної води в головні очисні спорудження станцій аерації, особливо після промивання осаду, зброженого в термофільних умовах, приводить до збільшення навантаження на очисні споруди, тому збільшення навантаження повинно враховуватися при проектуванні очисних споруд.

При механічному зневоднюванні сирих осадів відпадає необхідність у будівництві метантенків, котелень для їхнього обслуговування, газгольдерів, споруд по промиванню і ущільненню осаду, проміжних насосних станцій і трубопроводів для подачі промивної води, внаслідок

чого істотно спрощується технологія обробки осадів. Крім того, сирі осаді в порівнянні зі зброденими мають більш низькі значення питомих опорів, отже, вони краще зневоднюються навіть при обробці меншими дозами реагентів.

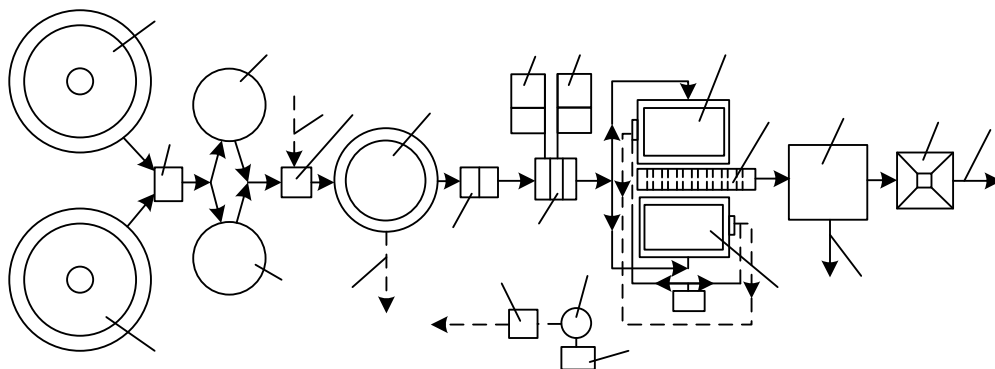


Рис. 10.5 Схема технологічного процесу обробки та зневоднення збродених осадів: 1 - відстійники та ущільнювачі; 2 - насосна станція; 3 - метантенки; 4 - подача очищеної стічної рідини на промивку осаду; 5 - камера змішування осаду з очищеною стічною рідиною; 6 - відстійник-мулоущільнювач; 7 - відвід зливної води в головні очисні споруди; 8 - приймальний резервуар з насосною станцією перекачування осаду; 9 - дозатор-змішувач хімічних реагентів з осадом; 10 - склад зберігання і вузол приготування розчину хлорного заліза; 11 - склад вапна і вузол приготування вапняної суспензії; 12 - барабанні вакуум-фільтри; 13 - конвеєр зневодненого осаду; 14 - сушарки; 15 - бункер; 16 - вивезення термічно висушеного осаду; 17 - відвід очищених димових газів в атмосферу; 18 - повітродувка; 19 - вакуум-насоси; 20 - ресивер для відділення фільтрату від повітря; 21 - насоси для відкачування фільтрату.

Схема технологічного процесу обробки й зневоднювання сирих осадів показана на рис. 10.6. Узагальнення досвіду експлуатації цехів механічного зневоднювання сирих осадів показало, що в приміщеннях запахів не відчувається. Барабанні вакуум-фільтри працюють стійко із продуктивністю 17–40 кг/(м²·год) і вологістю кека 67–80% при дозі хлорного заліза 2–4% і вапна 9–15 % (у перерахуванні на СаО) маси сухої речовини; при належній експлуатації і дотриманні прийнятої дози реагентів корозії не спостерігається. Термін служби, капронової фільтрувальної тканини становить 800–1200 год. Для ефективної експлуатації велике значення має одержання стабільної суміші осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу. В умовах нерівномірності складу й об'ємів осаду і мулу, розходження в часі випуску їх з відстійників змішування повинне здійснюватися в резервуарі-регуляторі витрати осаду. Для цього не потрібно спеціального пристрою змішувачів, однак об'єм резервуара-регулятора повинен розраховуватися з урахуванням режимів випуску осаду й мулу. Як резервуар-регулятор

витрати осаду можуть використовуватися ущільнювачі спільного ущільнення осаду первинних відстійників й активного мулу. Інтенсифікація процесу ущільнення досягається скиданням в ущільнювачі фільтрату й промивної води від вакуум-фільтрів і промивної води від скрубберів сушарок. Для попередження загнивання суміші й погіршення її водовіддачі тривалість ущільнення й зберігання сирих осадів у резервуарах не повинна перевищувати 4–5 годин.

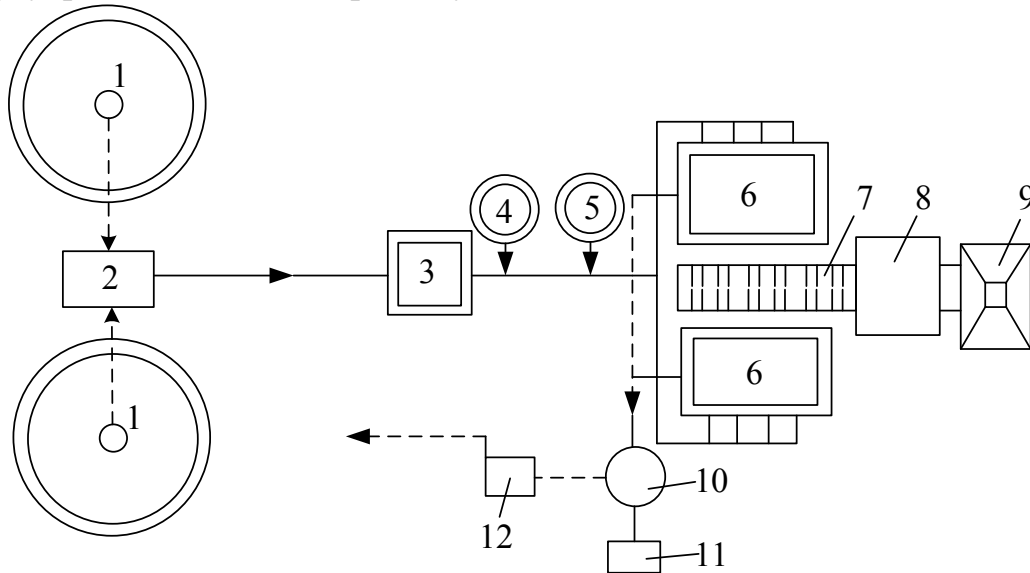


Рис. 10.6 Схема технологічного процесу обробки та зневоднення сирих осадів: 1 - відстійники і мулоущільнювачі; 2 - насосна станція перекачки осадів; 3 - резервуар-регулятор витрати осаду, 4 і 5 - вузол приготування і дозування відповідно хлорного заліза і вапняної суспензії; 6-барабанні вакуум-фільтри; 7 - конвеєр зневодненого осаду, 8 - вузол термічної сушки, 9 - бункер обробленого осаду; 10 - ресивер, 11 - вакуум-насос, 12 - насос для перекачування фільтрату в первинні відстійники.

Осад з первинних відстійників з активним мулом надходить у резервуар мулової станції, звідки насосами 4НФ суміш перекачується в резервуар-регулятор витрати осаду місткістю 600 м³. Для забору осаду з резервуара-регулятора використовуються три плунжерних насоси подачею 28 м³/год. Плунжерними насосами осад подається у двохярусний змішувач із реагентами. Змішувач спарений з розподільником, який обладнаний регульованими водозливами й дозволяє здійснювати самопливну подачу скоагульованого осаду по трьох трубопроводах на кожний із трьох барабанних вакуум-фільтрів типу БсхОУ-40-3,4 із площею поверхні фільтрації 40 м² кожний. Хлорне залізо й негашене мелене вапно розчиняються й зберігаються в резервуарах (два з них мають місткість по 14 м³ і два – по 30 м³ кожний), звідки вапно 10%-ної концентрації через проміжну ємність подається насосами в дозатори, обладнані переливами. Розведення хлорного заліза водою до 10%-ної концентрації здійснюється

безпосередньо в резервуарі без проміжної ємності. Стіни й днище резервуара для хлорного заліза покриті епоксидною смолою, яка покрита склотканиною з повторним нанесенням шару епоксидної смоли. Вакуум на вакуум-фільтрах створюється трьома водокільцевими вакуум-насосами, з'єднаними з вакуум-фільтрами через ресивер. Фільтрат з ресивера стікає в бачок - гідравлічний затвор, звідки самопливом видаляється в каналізацію. Вакуум-фільтри обладнюються фільтрувальною капроною тканиною або капроною сіткою.

Для промивання фільтрувальної тканини застосовується технічна вода зі вмістом зважених речовин до 15 мг/дм³. Витрата промивної води на один фільтр становить 10–15 м³/год при тиску 0,15–0,2 МПа.

Час фільтроциклу (один оберт барабану) становить 3,5-4 хв при вакуумі 0,04-0,05 МПа. Зневоднений осад стрічковим конвеєром подається на реверсивний конвеєр і далі в сушарку із зустрічними струменями або безпосередньо на скребковий конвеєр (коли сушарка не працює). Термічно висушений осад трубою-тічкою подається на той же скребковий конвеєр, яким перевантажується в чотирьохсекційний бункер готового продукту місткістю 3,6 м³ кожний.

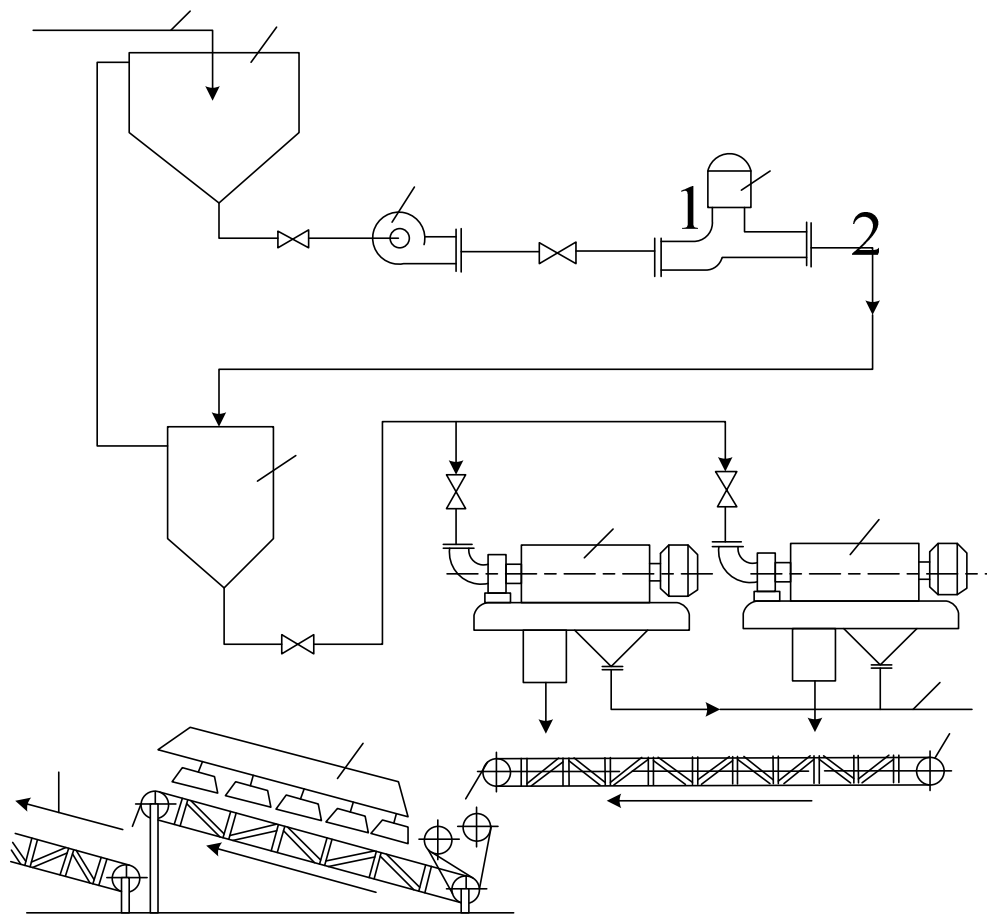
Сушильна установка із зустрічними струменями працює в такий спосіб. Осад через завантажувальний пристрій надходить у двошнекові живильники, де змішується із частиною раніше висушеного осаду (ретура). Змішаний осад подається в прийомні отвори сушильної камери. Туди ж надходять топкові гази, утворені у двох камерах згорання, розташованих на одній вісі, так, що гази з них рухаються назустріч один одному. Для забезпечення процесу горіння й підтримки необхідних параметрів сушильного агента на вході в сушильну камеру в камери згорання подається стиснене повітря від повітродувної станції аеротенків. Поданий у сушильну камеру осад підхоплюється потоками топкових газів, утворюючи разом з ними так називану газозавись, що рухається по трубах двома зустрічними потоками. При зіткненні останніх у центрі сушильної камери відбувається здрібнювання осаду і його інтенсивне сушіння. Далі газозавись по вертикальній пневмотрубі, у якій також здійснюється сушіння осаду, надходить у сепаратор. У нижній частині сепаратора відбувається досушка й виділення з потоку великих фракцій осаду, які вивантажуються з установки на скребковий конвеєр як готовий продукт, дрібні фракції відокремлюються від газового потоку у верхній частині сепаратора і використовуються в якості ретура. У виробничих приміщеннях обладнана приточно-витяжна вентиляція із дворазовим повітрообміном за годину.

Експлуатаційні показники роботи цеху механічного зневоднювання й термічного сушіння осаду на станції аерації в м. Орехово-Зуєво наведені нижче:

Кількість зневодненого осаду одним вакуум-фільтром м ³ /за зміну	110–210
Вологість осаду	95,4–96,6
Дози реагентів, % маси сухої речовини осаду:	
Хлорного заліза	2,5–3,4
Вапна (по СаО)	10–15
Продуктивність вакуум-фільтрів, кг/(м ² ·год) по сухій речовині осаду	17,5–30
Характеристика зневодненого осаду, %:	
Вологість	74,5–80,2
зольність	38,3–52
Вміст зважених речовин, мг/л:	
У фільтрі	80–283
У воді від промивки тканини	300–720
Характеристика роботи сушарки:	
Напруга по випаровуваній волозі, кг/(м ³ ·год)	485–730
Продуктивність по випаровуваній волозі, т/год	2,2–3,3
Питома витрата газу, м ³ на 1 кг випаровуваної вологи (при нормальних умовах)	0,09–0,108
Витрата повітря при тиску 0,115–0,120 МПа	3,8–4,9
Характеристика висушеного осаду, %:	
Вологість	35,2–45,5
зольність	41–56

Надлишковий активний мул із вторинних відстійників направляється в преаератори. Мулова суміш, одержувана в результаті спільного відстоювання стічної рідини з активним мулом у первинних відстійниках, надходить в ущільнювач, розрахований на 5-годинне перебування суміші, який є одночасно резервуаром-накопичувачем осаду. Щоб уникнути загнивання і злежування при більш тривалому зберіганні суміші в ущільнювачі може аеруватися повітря у кількості 0,5 м³ на 1 м³ суміші. Технологічна схема обробки суміші осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу представлена на рис. 10.7. З ущільнювача суміш подається у видатковий бак місткістю 2,2 м³. Для здрібнювання великих включень домішок на напірному трубопроводі встановлена решітка-дробарка типу РД-200. На рівні переливної труби і у дна видаткового бака встановлені датчики. У випадку відмови автоматики суміш із видаткового бака по переливній трубі може скидатися в ущільнювач.

З видаткового бака суміш самопливом надходить на дві центрифуги типу ОГШ-502К-4. Фугат, одержуваний у процесі центрифугування, повертається в преаератор, а зневоднений осад (кек) направляється в камеру дегельмінтизації. Знезаражений кек конвеєром подається на площадку для складування, звідки вивозиться для використання в якості добрива. Технологічна схема обробки сирих осадів стічних вод на станції аерації показана на рис. 10.8.



3

Рис. 10.7 Технологічна схема обробки сирих осадів стічних вод на станції аерації: 1 - подача вихідної суміші осадів; 2 - ущільнювач, 3 - насос, 4 - решітка-подрібнювач, 5 - видатковий бак; 6 - центрифуга, 7 - відвід фугату; 8 - транспортер; 9 - камера дегельмінтизації; 10 - відвід знезараженого осаду на утилізацію. 5

На очисних спорудах Хоста–Кудепста (м. Сочі) реалізована технологія флотаційного згущення, центрифугування й термічного сушіння осадів. На очисні споруди надходить 25 тис. м³/доб стічних вод, що мають БСКп=170 мгО₂/л, концентрацію зважених речовин 162 мг/л. Очищення стічних вод й обробка осадів здійснюється за схемою, наведеною на рис. 10.8.

Очищена стічна рідина має БСКп до 15 мгО₂/л і зважених речовин до 15 мг/л. Кількість осаду з первинних відстійників вологістю 93,5% становить 12,5 м³/доб або 0,8 т по сухій речовині, кількість надлишкового активного мулу вологістю 99,3% 480 м³/доб або 3,4 т по сухій речовині.

Осад первинних відстійників і активний мул зневоднюються на центрифугах типу ОГШ-502К-4. Ефективність затримки сухої речовини при центрифугуванні осаду первинних відстійників становить 45-50%, вологість зневодненого осаду - 65-80%.

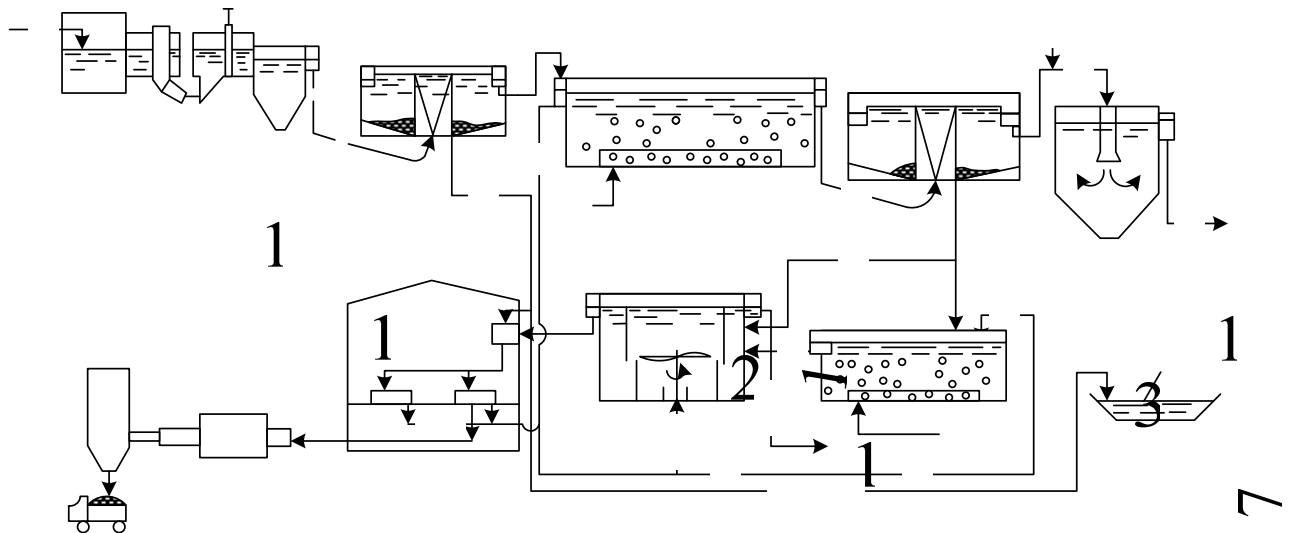


Рис. 10.8 Технологічна схема очищення стічних вод та обробки осаду на станції аерації Хоста-Кудепста: 1 - приймальна камера і решітки-дробарки, 2 - пісколовки, 3 - первинні відстійники, 4 - аеротенки, 5 - вторинні відстійники; 6 - контактні резервуари; 7 - аварійні мулові майданчики; 8 - аеробний стабілізатор, 9 - насосно-повітрорудувна станція; 10 - флотатор; 11 – цех центрифугування; 12 - установка сушіння осаду, 13 - бункер сухого осаду; трубопроводи: 1 - неочищені стічні води; 2 - очищені стічні води; 3 - мулова суміш; 4 - надлишковий активний мул; 5 - стабілізований осад з первинних відстійників; 6 - осад з первинних відстійників; 7 - фугат активного мулу; 8 - фугат стабілізованого осаду; 9 - повітря; 10 - зневоднений осад; 11 - хлор; 12 - робоча рідина; 13 - мулова вода.

Перед подачею надлишкового активного мулу на центрифуги здійснюється його згущення у флотаторі до концентрації 35–45 мг/л. Кількість зфлотованого активного мулу становить 84 м³/доб; ефективність затримки сухої речовини при центрифугуванні – 35–45%; вологість зневодненого мулу – 75–85%. Продуктивність центрифуг при центрифугуванні сирого осаду й згущеного мулу дорівнює 6–9 м³/год.

Термічне сушіння осадів здійснюється в агрегаті вітамінного борошна АВМ-0.65Ж. Вологість термічно висушеного осаду становить 20-30%. Термічно висушений осад повністю знезаражений і використовується в якості добрива.

Для підвищення ефективності процесу флоатації й центрифугування може застосовуватися аеробна стабілізація. Концентрація флотованого стабілізованого мулу становить 40-50 г/л; ефективність затримки сухої речовини - 45-55%.

Схема технологічного процесу обробки осадів наведена на рис. 10.9 має наступні експлуатаційні показники:

- продуктивність споруд обробки осадів - 0,25- 0,35 т/год по сухій речовині;
- тривалість аеробної стабілізації - 6-8 діб;

- продуктивність центрифуг –10–12 м³/год при ефективності затримки сухої речовини 25–30%;

- продуктивність сушарки із зустрічними струменями – 0,3– 0,7 т/год випаровуваної вологи, що, при витраті природного газу 40–70 м³/год і запиленості газів 80-120 мг/м³.

В результаті обробки з рідкого, зараженого патогенними мікроорганізмами і яйцями гельмінтів осаду одержують сухий, знезаражений, не загниваючий продукт, що використовується як добриво.

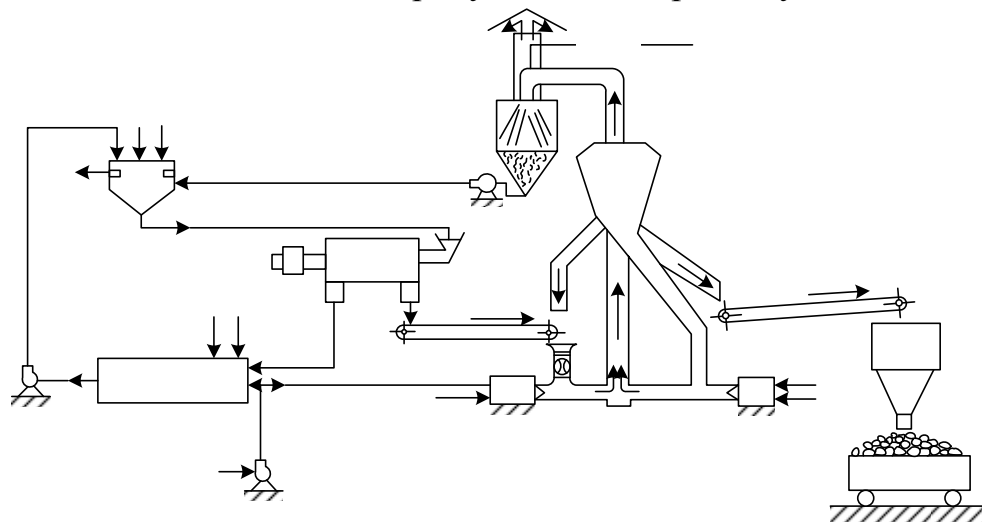


Рис. 10.9 Схема технологічного процесу безреагентного центрифугування і термічної сушки осадів: 1 - ущільнювач; 2 - ежекторний скрублер, 3 - сушарка із зустрічними струменями, 4 - циклон-бункер висушеного осаду; 5 - центрифуги; 6 - аеробний стабілізатор, 7 - насосна станція, 8 - повітродувки; МФ - мінералізований фугат; СО - осад з первинних відстійників; АИ - надлишковий активний мушкет; В - технічна вода; ТВ - стиснене повітря; Г - природний газ

Осади і шлами, отримані при нейтралізації стічних вод гальванічних цехів і травильних розчинів машинобудівних заводів, ефективно збезводнюються на фільтр-пресах, а осади і шлами, що утворюються при виробництві деревинно-волокнистих плит, на картонно-рубериюдних заводах, шкіряних заводах, деяких харчових та інших підприємствах, - на центрифугах. Вибір методу обробки й утилізації осадів і шламів виробничих стічних вод у кожному конкретному випадку повинен базуватися на експериментальних матеріалах, отриманих технологами й фахівцями відповідного профілю.

10.3 Приклади спалювання осадів за кордоном

За рубежом, наприклад у США, Голландії і Франції, очисні станції ряду міст продають оброблений осад як добриво. Осад ряду очисних

станцій у Канаді, ФРН, Англії, Японії, Польщі, Болгарії, та інших країнах також утилізується як органічне добриво.

Перевагами даного способу ліквідації осадів є: 1) мала площа розміщення установок по спалюванню; 2) одержання теплової енергії; 3) відносно невелика кількість золи після спалювання.

Однак в результаті спалювання відбувається виділення таких шкідливих газоподібних продуктів спалювання, як окисли сірки, азоту, галогенів і важких металів.

Для гарних печей ці викиди становлять 1% від кількості відходів, що спалюють. Але навіть і при цьому великі станції викидають в атмосферу тисячі тонн шкідливого пилу і газів за добу. Даний спосіб ліквідації осадів скоріше є вимушеним в тому випадку, коли жоден інший більш ефективний спосіб використання осадів неможливий.

Ступінь придатності осадів для спалювання й одержання теплової енергії залежить головним чином від вмісту органічних речовин і вологості. Для нагрівання 1 кг води до 100°C потрібно 100 кКал, а для перетворення її в пару (при 100°C) – 536 кКал, тобто всього 640 кКал. Абсолютний тепловий ефект при спалюванні 1 кг сухого осаду дорівнює приблизно 4000 кКал. При вмісті мінеральних речовин більше 30% тепловий ефект буде не вище 3500 кКал.

Якщо, наприклад, взяти 100 кг осаду вологістю 90%, то для випаровування води буде потрібно $90 \times 640 = 57600$ кКал, а тепловий ефект при спалюванні 10 кг сухих речовин в осаді буде дорівнює $10 \times 3500 = 35000$ кКал. Із приклада видно, що при такому вмісті води в осаді одержуваний тепловий ефект (при умовному ККД=100%) буде на 22600 кКал менше, ніж витрата тепла на випаровування води. Тому для одержання надлишкового тепла необхідно осаді попередньо зневоднювати і підсушувати. Однак витрати на це перевищують економію від одержуваного тепла, що пов'язано з додатковою витратою палива, енергії, хімікатів та ін.

У табл. 10.5 приводяться енергетичні показники спалювання 100 кг осадів вологістю від 90 до 10% при умовному ККД =100%.

При аналізі економічності способу спалювання осадів залежно від ступеня їхнього зневоднювання робиться висновок, що цей результат у промислових умовах може бути досягнутий при концентрації твердих речовин в осадах не нижче 40%, тобто при зменшенні вологості до 60% (за умови гарної водовіддачі і незначних витрат на попереднє зневоднювання і сушіння).

Нижче розглянуті деякі приклади вирішення завдання спалювання осадів за кордоном.

Печі для спалювання осадів. Для спалювання осадів стічних вод за кордоном застосовуються головним чином багатоподові печі й печі з киплячим шаром, а також циклонні печі, барабанні, камерні та ін.

Таблиця 10.5 Енергетичні показники спалювання 100 кг осадів

Вміст води, %	Маса, кг			Необхідні витрати тепла для випаровування, кКал	Надлишок тепла, кКал
	осаду	води	сухих речовин		
90	100	90	10	57600	-17600 (нестача)
80	50	40	10	25600	+14400
70	33,3	23,3	10	14912	+25088
60	25	15	10	9600	+30400
50	20	10	10	6400	+33600
40	16,7	6,7	10	4288	+35712
30	14,3	4,3	10	2752	+37420
20	12,5	2,5	10	1600	+38400
10	11,1	1,1	10	704	+39296

Багатоподова піч являє собою циліндричну сталеву футеровану камеру діаметром 3–7 м, висотою 4–15 м, із числом горизонтальних вогнетривких подів від 5 до 12. Поди мають отвори для завантаження й вивантаження рухомого зверху вниз зневодненого і спалюваного осаду. Назустріч осаду рухаються димові гази. Основна частина вологи випаровується на верхніх подах, а на середні осади згоряють при температурі 800–900°C. Охолодження золи, що утворюється, здійснюється в нижній частині печі.

У центрі печі розташований повільно обертовий порожній вал з мішалками, за допомогою яких осади пересуваються до периферійних або центральних отворів і через них попадають на нижні поди. Порожній вал і відводи прохолоджуються повітрям, що подається повітродувкою. У зону горіння надходить повітря, що нагрівається топковими газами.

Багатоподові печі відрізняються більш низькою витратою електроенергії, більш високою продуктивністю, простотою завантаження відходів і надійністю в роботі. Однак частини, що рухаються (порожній вал, скребкові мішалки), хоча й зроблені з жаростійкого чавуну, часто вимагають заміни прогорілих частин у зоні високих температур і досить високих капітальних і експлуатаційних витрат. Разом з тим надійність багатоподових печей забезпечила їм широке застосування в США, Англії та інших країн.

Печі з киплячим шаром за останні 20–25 років одержали найбільше поширення як для сушіння, так і для спалювання осадів. Тут процес спалювання в умовах псевдо розрідженого шару протікає найбільш інтенсивно. Такі печі досить широко застосовуються в США, ФРН, Японії, Франції та ін.

Принцип роботи цих печей базується на подачі гарячих газів знизу нагору через шар інертного матеріалу (пісок або фторопласт розміром

часток 1-5 мм), підтримуваного відповідними колосниковими ґратами. При певній критичній швидкості протікання газу весь інертний шар піднімається, переходячи у зважений (турбулентний) стан, що нагадує киплячу рідину. Зневоднений осад, який поступає, інтенсивно перемішується з інертним шаром. При цьому різко підвищуються параметри тепловіддачі.

Остаточне спалювання осаду відбувається у верхній частині печі при температурі 700–800°C. Зола, що утворилася, з розмірами часток 1-150 мкм легко виноситься з печі потоком вихідних газів, уловлюється, а потім видаляється в золівдвал. Відхідні газу використовуються для попереднього підігріву повітря до температури близько 500°C. Ці газу після теплообмінника очищаються від пилу в циклоні і мокрому скрубєрі.

Перевагою печей з киплячим шаром є малі габаритні розміри, відсутність рухомих і обертових частин, порівняно невеликі капітальні і експлуатаційні витрати, а також можливість автоматизації процесу роботи.

Конструктивно-технологічними недоліками є нерівномірність розподілу оброблюваних часток осаду у вихровому потоці, їхнє злипання і спікання, особливо при різних розмірах часток осаду.

Печі циклонного типу використовуються для спалювання термічно висушених пилоподібних осадів. Сушіння зневоднених осадів здійснюється за рахунок теплоти відвідних газів цих печей.

У циклонних печах досягається подовження часу перебування часток осаду в апараті при одночасному їх роздрібненні. Це забезпечує більш інтенсивний тепло- і масообмін процесу спалювання і більше повне згоряння.

Барабанні обертові печі є одним з перших пристроїв для спалювання осадів стічних вод. Вони являють собою нахилений сталевий циліндр (барабан), футерований вогнетривким матеріалом. Діаметр барабана дорівнює 1-3 м, а довжина досягає 8-15 м і більше. За допомогою бандажів і опорних роликів барабан обертається зі швидкістю одного оберту 0,8-2 хв. Від барабанних сушарок вони відрізняються пристроєм вивантажувальної камери, що виконана у вигляді вертикального топки, де здійснюється допалювання осаду. Випуск золи здійснюється в нижній частині топки, а випуск газів, що відходять, - у верхній. Разом з газами, що відходять, відлітає близько 20% пилоподібної сухої речовини, що затримується в циклонах і мокрих скрубєрах.

Поряд із простотою пристрою й великою продуктивністю барабанні печі мають істотні недоліки: вони громіздкі й характеризуються відносно низьким **ККД**; спалювання осаду супроводжується комкуванням, а отже, недопалюванням осаду, що усувається у вивантажувальній камері; наявність тонкої футеровки приводить до втрати теплоти і додатковій витраті палива.

Деякі приклади спалювання осадів. На рис. 10.10 наведена принципова схема обробки і спалювання міських і виробничих осадів стічних вод у м. Рур-Дюрене (ФРН) з 600 тис. жителів. Дана установка, побудована фірмою «Лурги», причому 40% від загальної кількості осадів становлять осади міста й 60%-промислових підприємств.

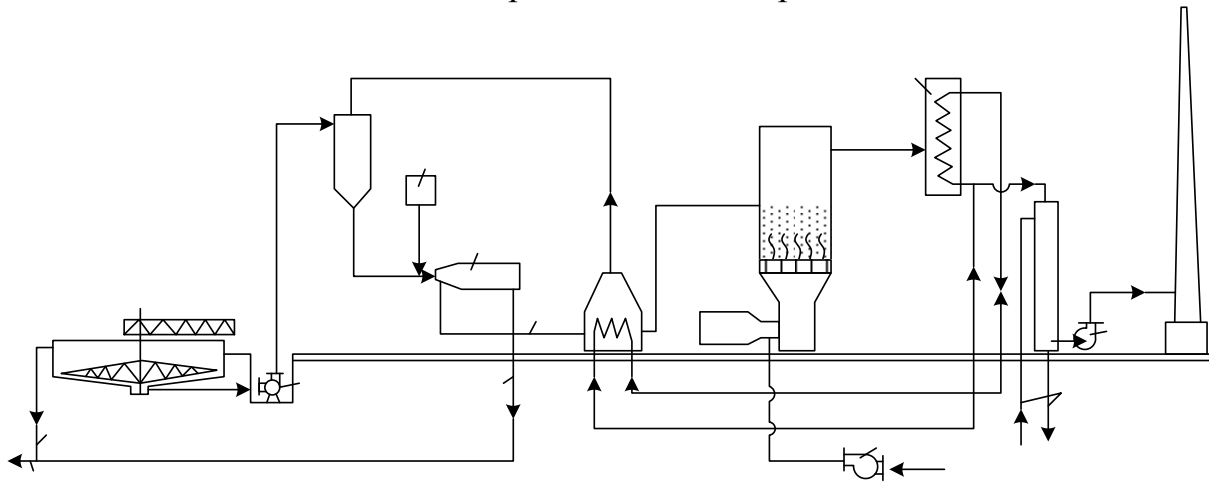


Рис. 10.10 Спалювання осадів у м. Рур-Дюрен (ФРН): 1 - ущільнювач, 2 - насосна установка, 3 - термоагрівач, 4 - флокулянт; 5 - центрифуга, 6 - сушарка, 7 - піч з киплячим шаром; 8 - топка; 9 - повітродувка; 10 - котел з масляним теплоносієм; 11 - мокрий скруббер; 12 - вентилятор; 13 - димова труба; 14 - кек; 15 - фугат; 16 - мулова вода; 17 - відвідна очисна споруда; 18 - промивна вода.

Спочатку осади з первинних відстійників разом з надлишковим активним мулом ущільнюються у відстійнику. При цьому концентрація сухих речовин в осадах збільшується з 2-3 до 4-6%. Після зневоднювання на центрифугах з додавкою полімерів концентрація сухих речовин в осадах підвищується до 24-26%. З такою концентрацією осади спалюються в печі з киплячим шаром. За рахунок використання тепла, що відходить, ущільнені осади підігрівалися до 60-70°C, завдяки чому не тільки була досягнута економія флокулянта на 50%, але й підвищилася концентрація осадів на 4-5%. Крім того, завдяки введенню в схему котла з масляним теплоносієм і окремою сушаркою газу, що відходить, використовуються з перепадом температури від 650 до 200°C. Це дає значну економію тепла, рівну 1,8 ГКал/год. Введення в схему окремої сушарки підвищує вміст сухих речовин в осаді з 28-30 (після зневоднювання) до 40% (після сушіння), що дозволяє забезпечити роботу печі з киплячим шаром без витрат додаткового палива.

Отже, окреме сушіння осаду забезпечувалося теплом масляного теплоносія, замкнутим у цикл, при температурі на вході в сушарку 240–250°C. При цьому випаровувана в сушарці вода з осаду у вигляді вторинної пари використовується для підігріву ущільненого осаду до

60–70°C. На рис. 10.11 наведена інша схема спалювання осадів, здійснена також фірмою «Лурги» у Південній Африці (м. Сасол). Тут надлишковий активний мул у кількості 600 м³ за 1 годину після флотаційного ущільнення згущується з 99,4–99,1 до вологості 98–97,5%. Потім разом з осадами з первинних відстійників він зневоднюється на восьми центрифугах S-51 з діаметром барабанів 1400 мм до вологості 90–92%.

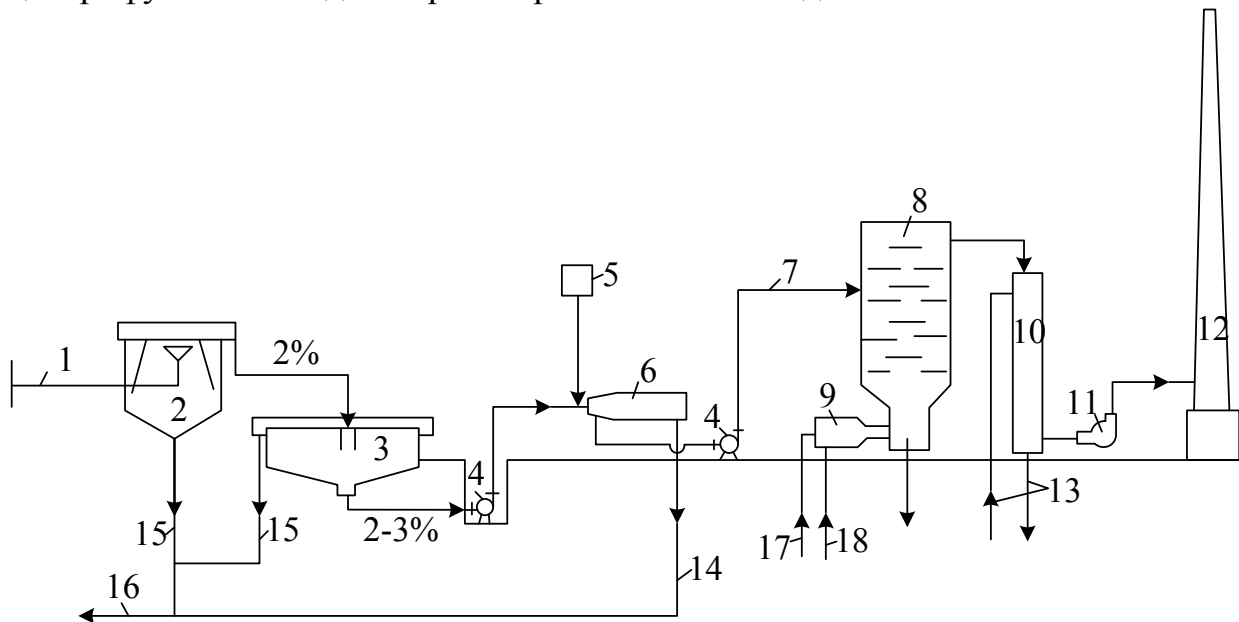


Рис. 10.11 Спалювання осадів у м. Сасол (ПАР): 1 - активний мул, 2 - флотатор, 3 - відстійник-ущільнювач, 4 - насосна установка, 5 - флокулянт; 6 - центрифуга, 7 - згущений осад; 8 - сушарка і багатоподова піч; 9 - топка; 10 - мокрий скруббер; 11 - димосмок вентилятор; 12 - димова труба; 13 - промивна вода; 14 - фугат; 15 - мулова вода; 16 - відвід на очисні споруди; 17 - мазут, 18 – повітря.

Після зневоднювання і попереднього сушіння осаді стічних вод спалюються в чотирьох багатоподових печах продуктивністю по 15 т/год. Попереднє сушіння здійснюється газами після спалювання при температурі 250–350°C. Очищення відхідних газів від пилових часток проводиться в мокрому скруббері, після чого охолоджені гази видаляються через димар.

На рис. 10.12 наведена схема обробки й спалювання міських осадів на очисній станції м. Франкфурт-на-Майні (ФРН). Продуктивність очисної станції становить приблизно 1500 тис. м³ стічної води за добу. Загальна кількість осадів з первинних відстійників і надлишкового активного мулу після ущільнення приблизно дорівнює 7000 м³ за добу при концентрації 3–4% сухих речовин. Відповідно до схеми сирий осад і надлишковий активний мул після ущільнення в радіальних відстійниках до концентрації 3–4% надходять у підігрівник, де осаді нагріваються до температури 60°C, використовуючи для цього тепло від системи спалювання. Підігрів

осаду полегшує зневоднювання його в центрифугах і дозволяє скоротити витрата флокулянта до 50%. Після зневоднювання в шести центрифугах до концентрації 25-30% осади піддаються попередньому сушінню і спалюванню.

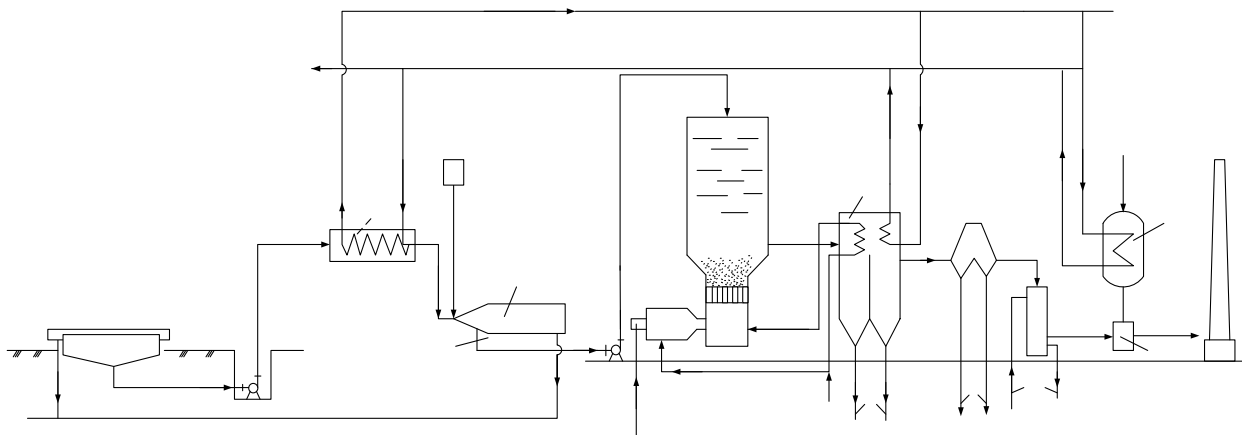


Рис. 10.12 Спалювання осадів у м. Франкфурт-на-Майні (ФРН): 1 - відстійник-ущільнювач; 2 - насосна установка, 3 - підігрівач, 4 - центрифуга, 5 - флокулянт; 6 - багатоподова сушарка із зоною киплячого шару для спалювання; 7 - пусковий пальник; 8 - котел з масляним теплоносієм; 9 - електрофільтр; 10 - мокрий скруббер; 11 - підігрівач; 12 - вузол підігріву; 13 - димова труба; 14 - кек; 15 - фугат; 16 - мулова вода; 17 - відвід на очисні споруди; 18 - мазут, 19 - повітря, 20 - зола, 21 - повітря; 22 - зола; 23 - промивна вода.

Ці дві найважливіші операції проводяться в одному комбінованому агрегаті, де багатоподова сушарка (зверху) сполучена із зоною киплячого шару для спалювання осадів (унизу). Відхідні гази з температурою 850°C ⁴ утилізуються в котлі з масляним теплоносієм, звідки тепло при $t=550^{\circ}\text{C}$ витрачається для розігріву печі, а при $t=180^{\circ}\text{C}$ - для електростатичного знепилення газу. Додаткове промивання газів і звільнення їх від ^{30%} шкідливих речовин проводиться в скрубєрі.

У відповідності до підвищених вимог органів санітарного нагляду газ після електрофільтру і скрубєра додатково підігрівається до $t=105^{\circ}\text{C}$, що також забезпечує вихід газу з димаря без вмісту шкідливих речовин і водяної пари.

Контрольні запитання

1. Проаналізуйте техніко-економічне обґрунтування методів обробки осадів стічних вод.
2. Поясніть передумови вибору методу і технологічної схеми обробки осадів стічних вод.
3. Зробіть аналіз практики застосування методів обробки осадів.
4. Дайте характеристику прикладам спалювання осадів стічних за кордоном.

ЛІТЕРАТУРА

1. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2: Методи очищення стічних вод / [Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І.] – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 254 с.
2. Евилевич А. З., Евилевич М. А. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Стройиздат, 1988.– 248 с.
3. Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод.– 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.
4. Яковлев СВ. и др. Обезвоживание осадков сточных вод металлообрабатывающей промышленности /С. В. Яковлев, В. И. Аксенов; Под ред. С. В. Яковлева. - М.: Стройиздат 1984. – 96 с.
5. Справочник по очистке природных и сточных вод / Л.Л. Пааль, Я.Я. Кару, Х.А. Мельдер, Б.Н. Репин. – М.: Высш. шк., 1994. – 336 с.
6. Природоохоронні технології: метод. вказівки до вивчення дисципліни та написання реферату для студ. спец. 7.070801 "Екологія та охорона навколишнього середовища" (спеціалізація "Екологія харчової промисловості") денної форми навчання / уклад. О. І. Семенова [та ін.] ; Національний ун-т харчових технологій. - К. : НУХТ, 2004. - 12 с.
7. Природоохоронні технології: метод. вказівки до виконання лаб. робіт для студ. спец. 7.070801 "Екологія та охорона навколишнього середовища" (спеціалізація "Екологія харчової промисловості") напряму 0708 "Екологія" / Національний ун-т харчових технологій ; уклад. О. І. Семенова [та ін.]. - К. : НУХТ, 2005. - 39 с.
8. Природоохоронні технології: лабораторний практикум / уклад. С. Д. Борук; Чернівецький національний ун-т ім. Юрія Федьковича. - Чернівці : Рута, 2004. - 34 с.
9. Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очистки природных вод. Киев, 1986.
- 10.Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. М.; Л., 1986.
- 11.Москвитин Б. А., Мирончик Г. М., Москвитин А. С. Оборудование водопроводных и канализационных сооружений. М., 1984.
- 12.Николадзе Г. И. Технология очистки природных вод. М., 1987.
- 13.Попкович Г. С, Репин Б. Н. Системы аэрации сточных вод. М, 1986.
- 14.Правила приема производственных сточных вод в систему канализации населенных пунктов. М., 1988.
- 15.Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. Киев, 1980.
- 16.Охримюк, Б. Ф. Водовідведення та очищення стічних вод: навч. посіб. для студ. спец. 7.092601 "Водопостачання та водовідведення" / Б. Ф. Охримюк ; ред. А. І. Мацнев; Рівненський держ. технічний ун-т. - Рівне, 1999. Ч. 1 : Водовідвідні мережі і споруди, 1999. - 203 с.

17. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: підручник для студ. хіміко-технологічних і екологічних спец. вищих закладів освіти / А. К. Запольський [та ін.]; заг. ред. А. К. Запольський. - К.: Лібра, 2000. - 552 с.
18. Охорона навколишнього природного середовища. Автоматизовані системи контролю стічних вод: Типи та основні вимоги . - Введ. 2000.01.01.- Офіц. вид. - К. : Держстандарт України, 1999. - III, 8с., III, 8 с. (розд. паг.). - (Державний стандарт України).
19. Петренко О.С. Охорона водних ресурсів. Умови скиду стічних вод в поверхневі водні об'єкти: навч. посіб./О.С. Петренко; Київський національний ун-т будів-тва і архітектури. - К.: КНУБА, 2005. - 144 с.
20. Филипчук В. Л. Очищення багатокomпонентних металомісткуючих стічних вод промислових підприємств / В. Л. Филипчук. - Рівне: УДУВГП, 2004. - 232 с.
21. Мальований М. С. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами: [монографія] / М. С. Мальований, І. М. Петрушка ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2012. - 177 с.
22. Леонов В. Є. Технологія очищення стічних вод з метою захисту гідросфери : монографія / В. Є. Леонов [и др.]; ред. В. Є. Леонов; Херсонський держ. морський ін-т, Міжнародний ун-т бізнесу і права. - Херсон: ХДМІ, 2008. - 152 с.
23. Антипчук А. Ф. Очистка стічних вод : опорний конспект лекцій: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / А. Ф. Антипчук; Відкритий міжнародний ун-т розвитку людини "Україна". - К. : Університет "Україна", 2008. - 57 с.
24. Удосконалення технології біологічної очистки стічних вод / М. Д. Волошин [и др.]; Дніпродзержинський держ. технічний ун-т. - Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2009. - 230 с.
25. Таварткіладзе І. М. Водовідведення. Очистка міських стічних вод: навч. посібник для студ. спец. 7.092601 "Водопостачання та водовідведення" / І. М. Таварткіладзе, О. М. Нечипор; Київський національний ун-т будівництва і архітектури. - К.: КНУБА, 2009. - 96 с.
26. Кононцев С. В. Екологічна біотехнологія очищення стічних вод та культивування кормових організмів: монографія / Кононцев С. В., Саблій Л. А., Гроховська Ю. Р. ; Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. - Рівне: НУВГП, 2011. - 154 с.
27. Косогіна І. В. Ресурсозберігаючі технології коагуляційного очищення стічних вод: [монографія] / І. В. Косогіна, І. М. Астрелін. - О.: Екологія, 2011. - 132 с.

Навчальне видання

**Петрук Василь Григорович
Васильківський Ігор Володимирович
Безвозюк Ірина Іванівна
Петрук Роман Васильович
Турчик Павло Миколайович**

ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ

Частина третя

Методи переробки осадів стічних вод

Навчальний посібник

Редактор

Оригінал-макет підготовлено І. Васильківським

Підписано до друку 27.07.2012 р.
Формат 29,7×42 $\frac{1}{4}$. Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний Ум. друк. арк. 5.5
Наклад при. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к.114
Тел. (0432) 59-85-32
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к.114.
Тел. (0432) 59-87-38
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.