

УДК 628.38

Н.Г. Степова, канд. техн. наук, стари. наук співроб.

Інститут гідромеханіки ІАНУ.

О.М. Кушка, канд. техн. наук, доцент.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Ю.І. Калугін, канд. ф.-мат. наук, стари. наук співроб.

Інститут гідромеханіки ІАНУ.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ОСАДУ ОЧИСНИХ СПОРУД СИСТЕМ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Щодня на водопровідних та каналізаційних очисних станціях України утворюються величезні обсяги осаду, який, при правильному підході до його обробки, може приносити навіть користь. Одним з прикладів такого корисного використання є утворення біогазу при анаеробному зброджуванні осаду, що виникає в ході біологічної очистки побутових стічних вод [1]. Цей процес протікає в метантенках, де в результаті мезофільного (при температурі 30-35 °С) або термофільного (при температурі 50-55 °С) зброджування органічна речовина осаду розпадається з виділенням суміші газів, що складається переважно з метану (до 70%) та вуглекислого газу (до 30%). І хоча зброджування каналізаційного осаду в метантенках потребує витрат енергії на нагрівання, перевагою процесу є те, що виділення біогазу відбувається у надлишковій кількості у порівнянні з термічними потребами установки. Так, наприклад, при обробці суміші свіжих осадів після первинного та вторинного відстійників для нагрівання метантенку буде потрібна приблизно одна третина утворюваного біогазу, тоді як дві третини залишаться вільним для подальшого використання [2].

Зберігають біогаз у газгольдерах під тиском у кілька барів. Окрім нагрівання метантенків цей газ може використовуватись для опалення приміщень, сушки осаду, в якості палива для печей по спаленню осаду, а також як джерело електроенергії. Наприклад, паризька каналізаційна очисна станція «Achères», яка щодоби очищує близько 2 млн. кубометрів стічних вод економить за рахунок використання біогазу до 35 відсотків від загальної кількості необхідної для її потреб електроенергії [2].

Вологість осаду після зброджування у метантенках може сягати 99 відсотків, а тому він потребує зневоднення, основна мета якого полягає в зменшенні обсягів, що він займає, а також витрат, пов'язаних з його транспортуванням та подальшою обробкою. Стабілізований зневоднений осад після додаткового підсушування може використовуватись в якості добрива у сільському господарстві, якщо він

задовольняє існуючим санітарно-гігієнічним вимогам, перш за все, щодо вмісту іонів важких металів.

Питання переходу до механічних методів зневоднення стає дедалі актуальнішим для України. На відміну від держав Західної Європи, де механічне зневоднення у практиці водопостачання та водовідведення є загальноповсюдним, в нашій країні такі процеси все ще залишаються скоріше винятком із правил. Зазвичай, органічний осад, що утворився на каналізаційних спорудах, зневоднюється на мулових полях, а осад водопровідних станцій просто скидається до найближчих проточних водойм без будь-якої обробки. Все це призводить до негативного впливу на довкілля, як це зазначено в звіті Комітету з питань екологічної політики Європейської економічної комісії ООН [3].

Перехід до європейських стандартів якості води потребує суттєвої модернізації існуючих технологій очистки. Це стосується і методів зневоднення осаду. Останнім часом в цьому питанні помітні певні зрушення. Так, в Києві в липні 2011 року на Бортничівській станції аерації відбулось тестування пересувного фільтрпресу швейцарської фірми Bucher, який за годину обробляє 20 м³ осаду, і в залежності від типу осаду (стабілізований ущільнений надлишковий активний мул, сирий попередньо необроблений осад тощо) здатен зменшити його вологість на 20-40 відсотків.

У серпні 2011 року на Дніпровській водопровідній станції (ДВС) був презентований мобільний відцентровий декантер німецької фірми GEA Westfalia Separator Group, який був протестований на реальному осаді станції. Попередньо ущільнений та оброблений флокулянтосад після зневоднення зменшував свою вологість з 99 до 76 відсотків. На рис. 1 наведене фото декантера UCF 466-00-35, протестованого на ДВС 09 серпня 2011 року. На рис. 2 наведені фото осаду та центрату (рідини, яка відділяється від осаду під дією відцентрової сили) після проведення тестового зневоднення.

Тестове зневоднення показало зменшення вологості осаду на 23 відсотки. Взагалі величина водовіддачі суттєво залежить від типу осаду. Гідрофільний осад, що містить багато хімічно зв'язаної води, видає вологу набагато гірше, ніж гідрофобний. Тип осаду диктує і вибір технологічних процесів, що передують зневодненню, а також обумовлює застосування тієї чи іншої установки.

Так, наприклад, за американськими рекомендаціями для зневоднення осаду каналізаційних очисних споруд мулові майданчики доцільно влаштовувати лише в невеликих населених пунктах з числом мешканців до двадцяти тисяч осіб за наявності вільної території та відповідних кліматичних умов, тоді як у великих містах слід застосовувати споруди механічного зневоднення такі як центрифуги та фільтрпреси [4].

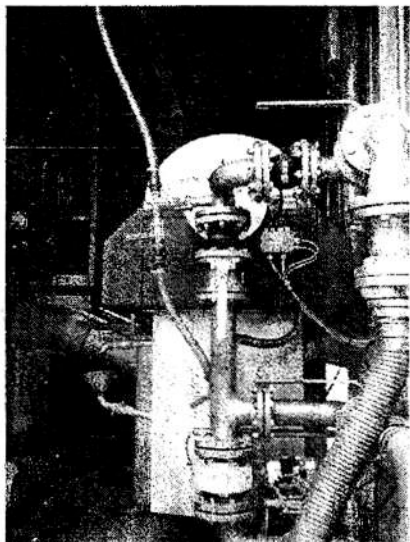


Рис. 1. Відцентровий декантер UCF 466-00-35

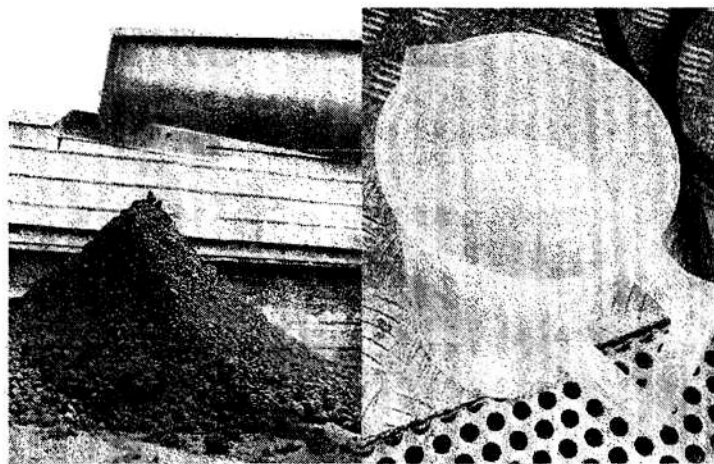


Рис. 2. Осад (зліва) та концентрат (справа) після гравітаційного зневоднення

Фільтрпреси є одними з найбільш розповсюджених установок, які застосовуються при зневодненні осаду водопровідних та каналізаційних очищених споруд. Видилення води тут відбувається за рахунок надлишкового тиску, прикладеного до осаду. На рис.3 наведена спрощена схема однієї секції камерного фільтрпреса.



Рис. 3. Схематичне зображення секції камерного фільтрпреса

Осад після проходження стадії хімічного кондиціонування закачується помпою у простір між двома плитами з такою витратою, щоб підтримувати тиск 690-1550 кПа протягом 1-3 годин [4]. За рахунок цього тиску вода вилучається з осаду, фільтруючись крізь мембрани, які займають значну частину поверхні обох плит. Загальний фільтроцикл становить 2-5 годин та складається з п'яти етапів. На першому етапі відбувається заповнення камер фільтрпресу, на другому – зневоднення осаду (при цьому осад подається до камер в обсязі, потрібному для підтримування постійного надлишкового тиску). Третій етап – це відкриття камер фільтрпресу за рахунок розсування плит, четвертий – вивантаження кеку та промивка, п'ятий – закриття камер фільтрпресу. На рис.4 зображено схему перебігу другого етапу фільтроциклу, під час якого саме і відбувається процес зневоднення. Цей етап починається, коли весь обсяг камери товщиною $2H_0$ заповнюється осадом з початковою об'ємною концентрацією твердої фази X_0 , а закінчується, коли біля поверхні мембрани формується шар зневодненого осаду товщиною H_k .

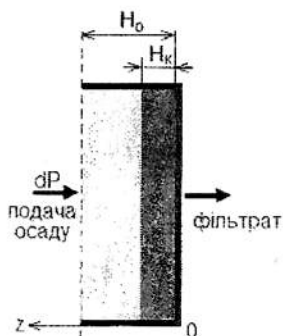


Рис. 4. Схема другого етапу фільтроциклу

Для прогнозування зміни концентрації твердої фази осаду з часом та по ширині камери фільтрпресу було застосовано методи математичного моделювання. За базову взято модель фільтрпреса, описану в роботах [5, 6]:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(X) \frac{\partial X}{\partial z} - X \frac{dh}{dt} \right], \quad (1)$$

де X – об'ємна концентрація твердої фази; dh/dt – швидкість збільшення шару концентрованого осаду біля поверхні мембрани; $D(X)$ – коефіцієнт дисперсії.

Вважається, що осад подається до камери фільтрпресу зі сталою концентрацією твердої фази X_0 , тоді як біля мембрани формується шар зневодненого осаду з концентрацією X_{inf} , яка є максимально можливою концентрацією для даного надлишкового тиску ΔP (див. рис. 4) та обчислюється за формулою:

$$X_{inf} = X_g \left(\frac{\Delta P}{P_1} + 1 \right)^{1/P_2}, \quad (2)$$

де X_g – концентрація досягнення точки гелеутворення (об'ємна концентрація твердої фази, за якої осад набуває властивостей неньютонівської рідини); ΔP – величина надлишкового тиску, прикладеного до осаду; P_1 , P_2 – емпіричні коефіцієнти, які характеризують властивості осаду.

Коефіцієнт дисперсії $D(X)$ в рівнянні (1) визначався за формулою, наведеною в роботі [6]:

$$D(X) = d_1 X^{d_2} (1 - X)^{d_3}, \quad (3)$$

де X – об'ємна концентрація твердої фази осаду в певний момент часу в певній точці камери фільтрпресу (див. рівняння (1)); d_1 , d_2 , d_3 – емпіричні коефіцієнти, залежні від типу осаду. Значення коефіцієнтів d_1 , d_2 , d_3 пов'язане з величиною осмотичного тиску, який визначається або за чисто емпіричними залежностями, як це, наприклад, зроблено у роботі [6], або за теоретично обґрунтованими виразами, як наприклад формула Кайдінга [7] або її модифікація, яка враховує крім щільності твердої фази також густину рідкої фази [8].

Крайову задачу (1) було вирішено чисельними методами при відповідних початкових та граничних умовах. При цьому було написано розрахункову програму зі зручним для користувача інтерфейсом (див. рис.5). Вихідними даними, потрібними для проведення розрахунку є надлишковий тиск ΔP , що забезпечує перебіг процесу зневоднення; початковий шар осаду H_0 (див. рис. 4), який для випадку камерного фільтрпресу дорівнює половині ширини камери; об'ємна концентрація твердої фази, за якої досягається точка гелеутворення X_g ; початкова об'ємна концентрація твердої фази в осаді, що подається на зневоднення X_0 ; емпіричні коефіцієнти P_1 , P_2 , потрібні для визначення концентрації X_{inf} ; емпіричні коефіцієнти d_1 , d_2 , d_3 , необхідні для обчислення коефіцієнту дисперсії $D(X)$; коефіцієнт припинення розрахунку f ; час фільтрування T_f .

При концентраціях твердої фази, які є близькими до X_{inf} , процес зневоднення майже припиняється. Тому в розрахунках вводиться коефіцієнт f (більш детально див. роботу [5]). Програма припиняє роботу при досягненні об'ємної концентрації твердої фази $X=fX_{inf}$. Інший варіант припинення роботи програми – досягнення часу Tf , який задається разом з вихідними даними. Програма припиняє роботу у випадку, коли значення часу Tf є меншим за час досягнення концентрації fX_{inf} .

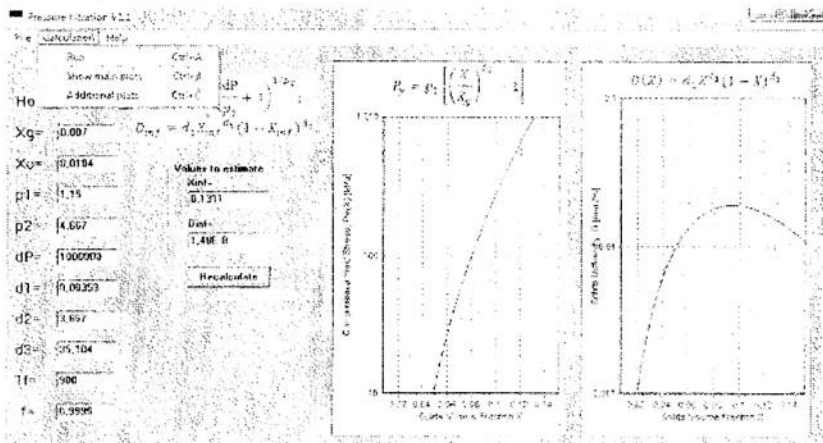


Рис. 5. Інтерфейс програми для розрахунку фільтрпреса.

Як приклад на рис.6 наведено графік зміни середньої концентрації твердої фази X_{av} з часом при зміні надлишкового тиску ΔP у діапазоні від 600 кПа до 1400 кПа та наступних вихідних даних: $N_0 = 0.015$; $X_0 = 0.0070$; $X_{inf} = 0.0104$; $p_1 = 1.150$ Па; $p_2 = 4.667$; $d_1 = 0.00353$ м²/с; $d_2 = 3.667$; $d_3 = 35.104$; $Tf = 550$ с; $f = 0.9999$. Вихідні дані для розрахунку фільтрпреса було взято з роботи [6].

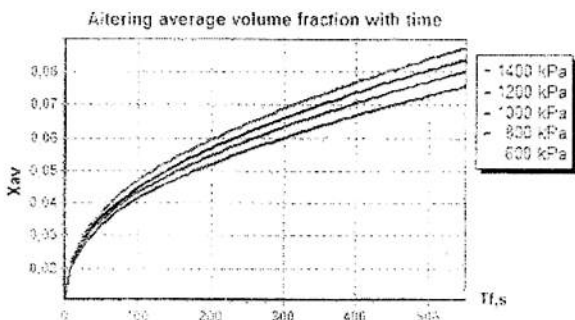


Рис. 6. Зміна середньої об'ємної концентрації твердої фази при різних значеннях прикладеного тиску

Як видно з рис.6, збільшення прикладеного тиску з 600 кПа до 1400 кПа при часі фільтрування 500 с при заданих вихідних даних, призводить до росту середньої концентрації твердої фази в камері фільтрпреса приблизно на 30 %.

Висновок

Обробка та утилізація осаду волопровідних та каналізаційних очисних споруд є наразі для України дуже актуальною проблемою. Останнім часом в цьому питанні помітні певні зрушення: на Дарницькій водопровідній станції та Бортничівській станції аерації міста Києва проведені тестові випробування мобільних установок по зневодненню осаду. Прогнозування роботи таких установок доцільно здійснювати, використовуючи методи математичного моделювання, для чого на базі моделей, наведених в іноземній літературі, розроблено програму розрахунку основних технологічних параметрів фільтрпреса, яка має зручний для користувача інтерфейс.

Список літератури

1. Мокринская Г. Метантенки - утилизация отходов с пользой. //С.О.К. (Сантехніка, опалення, кондиціонування), №8-9, 2009, с.36-40.
2. Дегремон. Технический справочник по обработке воды, пер. с фр., в 2-х томах. - Санкт-Петербург: Новый журнал.- 2007.- 1696 с.
3. Environmental Performance Review. Ukraine / Committee on Environmental Policy, Economic Commission for Europe, United Nations.- New York and Geneva.- 2007.- 194 p.
4. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Fourth Edition). Section 14-13. Dewatering.-Metcalf&Eddy inc.- 2003.- p.1558-1579.
5. Landmann & White. Prediction filtration time and maximizing throughput in a pressure filter, AIChE Journal, 1997, vol.43 (12), p.3147-3160.
6. Stickland et all. Numerical modeling of fixed-cavity plate-and-frame filtration: formulation, validation and optimization, Chem. Eng.Sci, No 61, 2006, 3818-3829.
7. Keiding K. Osmotic effects in sludge dewatering / Keiding K., Rasmussen M.R. Advances in Env. Res., 2003 (3), vol.7, p.641-645.
8. Сменова Н.І. Вплив фізико-хімічних властивостей осаду каналізаційних очисних споруд на його здатність до зневоднення // Екологічна безпека та природокористування, 2011, №7, р.73-81.

Надійшла до редакції

25.10.11 р.