

УДК 628.33:532.1

ВПЛИВ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСАДУ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД НА ЙОГО ЗДАТНІСТЬ ДО ЗНЕВОДНЕННЯ

*Н. Г. Степова, канд. техн. наук
(Інститут гідромеханіки НАН України)*

Розглянуто основні фізико-хімічні властивості осаду біологічного походження, що впливають на його здатність до зневоднення: осмотичний тиск, межа еластичності та межа текучості. Запропоновано новий вираз для визначення осмотичного тиску, що є модифікацією рівняння Кейдінга та враховує густину рідкої фази кеку.

Рассмотрены основные физико-химические свойства осадка биологического происхождения, которые влияют на его способность к обезвоживанию: осмотическое давление, предел эластичности и предел текучести. Предложено новое выражение для определения осмотического давления, которое является модификацией уравнения Кейдінга и учитывает плотность жидкой фазы кека.

Main physical and chemical biosolids properties are studied affecting their dewaterability: osmotic pressure, compressive yield stress and shear yield stress. A new expression has been proposed for osmotic pressure calculation modifying the Keiding equation in a way to account for the density of filter cake aqueous phase.

Вступ

Проблема осаду, що утворюється після очищення стічних вод, стає дедалі актуальнішою для України. Як зазначається у рекомендації 8.9. звіту Комітету з питань екологічної політики Європейської економічної комісії ООН: «Проблема ліквідації та/або утилізації осаду з каналізаційних очисних споруд в Україні залишається досі не вирішеною, оскільки великий вміст важких металів у осаді робить неможливим його використання у сільському господарстві. Іншою проблемою є великі обсяги осаду. Механічне зневоднення осаду, яке широко використовується у країнах Західної Європи, є дуже енергоємним процесом, який ще й досі не

впроваджений в Україні. Крім того, більшість хімічних реагентів, необхідних для перебігу даного процесу, в Україні не виробляється, а їх імпорт потребує додаткового фінансування» [1].

Мулові майданчики наразі залишаються найбільш розповсюдженими спорудами по зневодненню осадів [2], які навіть за наявності механічного зневоднення, нормативно рекомендується використовувати в якості аварійних споруд [3]. Проте мулові майданчики не допомагають вирішити проблему осаду у великих містах. Яскравий приклад тому — Бортничівська станція аерації, що очищає стоки м. Києва. На мулових полях станції зараз накопичено осаду вдвічі більше за проектну потужність, що негативно впливає на екологічну ситуацію в регіоні. Кардинально поліпшити ситуацію можливо лише за умови заміни мулових майданчиків спорудами механічного зневоднення осаду з обов'язковою попередньою обробкою осаду хімічними (із застосуванням реагентів) або фізичними методами. А щоб правильно підібрати споруди механічного зневоднення осаду та забезпечити необхідні умови для їх оптимальної експлуатації, необхідно дослідити колігативні властивості осаду, тобто властивості, які залежать від його концентрації.

Зазвичай у вітчизняній фаховій літературі таким показником є питомий опір фільтрації, який залежить від вологості осаду та типу його попередньої обробки [2, 4–6]. Проте у сучасній світовій літературі до основних властивостей осаду, що впливають на його здатність до зневоднення, відносять межу текучості (shear yield stress), межу еластичності (compressive yield stress) та осмотичний тиск (osmotic pressure) [7–13]. Слід зауважити, що всі ці параметри є суттєвими при такому вмісті твердої фази, коли осад набуває властивостей неньютонівської рідини.

Методи та дискусія

Осад біологічного походження є побічним продуктом біологічного очищення стічних вод та після вторинних відстійників може містити до 99,7% води [3]. Видалення цієї води має важливе значення для проведення економічно обґрунтованих стабілізації, транспортування та утилізації осаду. Моделювання мулових процесів потребує глибокого вивчення фізико-хімічних властивостей осаду при зміні співвідношення між його твердою та рідкою фракціями [14, 15].

При збільшенні кількості твердої фракції однією з основних властивостей осаду стає осмотичний тиск. Його визначення базується на законі Вант-Гофа, який пов'язаний з молярністю розчину [9, 16]. Кейдінг та ін. [7, 14] запропонували вираз для визначення осмотичного тиску π у структурованому біологічному осаді, який враховує кількість протиіонів у його водній фазі. Вираз Кейдінга вживається у роботах багатьох дослідників [17–19] та має вигляд:

$$\pi = \sigma \rho_s \frac{1-\beta}{\beta} RT. \quad (1)$$

Тут σ — заряд полімеру на одиницю маси твердої речовини, екв/кг; ρ_s — густина твердої фази кеку, кг/м³; β — пористість кеку, б/м; R — константа, $H \cdot m \cdot K^{-1} \cdot \text{екв}^{-1}$; T — абсолютна температура, К.

У виразі (1) добуток $\sigma \rho_s (1-\beta)/\beta$ є еквівалентом молярної маси у законі Вант-Гофа. Проте, як свідчать деякі досліди, закон Вант-Гофа не діє при концентраціях, більших за 10 моль/м³ [16]. При перевищенні цієї межі збіг з експериментально вимірними значеннями осмотичного тиску краще, якщо замість молярності (кількості молей розчиненої речовини у 1000 грамах розчинника) у законі Вант-Гофа використовується молярність (кількість молей розчиненої речовини на літр розчину) [16].

Інакше кажучи, N часток розчиненої речовини у одному літрі розчину не є те саме, що N часток розчиненої речовини у одному кілограмі, навіть для чистої води (найуживанішого розчинника). Наприклад, 1000 часток у одному літрі розчинника густиною 990 кг/м³ означає 1010 (1000*1000/990) часток у одному кілограмі. Маса є більш сталою, тоді як об'єм змінюється при зміні густини, а отже при зміні температури та солемісту.

З урахуванням зазначеного вище та беручи до уваги те, що водна фаза кеку є одночасно розчинником та розчином, було б краще записати вираз для осмотичного тиску як

$$\pi = 1000 \sigma \frac{\rho_s}{\rho_L} \frac{1-\beta}{\beta} RT. \quad (2)$$

Тут 1000 — кількість літрів в одному кубометрі, σ — заряд полімеру на одиницю маси твердої речовини, екв/кг; ρ_s та ρ_L —

відповідно густина твердої та рідкої фази кеку, кг/м^3 ; β — пористість кеку, б/м ; R — константа, $\text{Н}\cdot\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}\cdot\text{екв}^{-1}$; T — абсолютна температура, К .

Слід зауважити, що R тільки чисельно дорівнює константі ідеального газу у законі Менделєєва-Клайперона, яку Вант-Гоф застосував для свого рівняння. У законі Вант-Гофа $R = 8,314 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{К}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$, у рівнянні Кейдінга та ін. [7, 14] $R = 8,314 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{К}^{-1}\cdot\text{екв}^{-1}$, але не $8,314 \text{ Дж}\cdot\text{К}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$, як це зазначено у роботі [19].

Запропонований вираз для осмотичного тиску є більш універсальним порівняно з виразом Кейдінга та ін. [7, 14], оскільки він враховує не тільки щільність твердої фази, але й густину рідини, яку містить кек, та дозволяє точніше розрахувати, наприклад, зміну осмотичного тиску зі зміною температури або солемісту, бо ρ_L є залежним від цих параметрів.

На рис. 1 наведена зміна осмотичного тиску з часом та солемістом при застосуванні рівняння Кейдінга (1) та запропонованого в даній роботі виразу (2). При цьому значення густини водної фази в залежності від температури та концентрації солей, потрібні для підрахунків, були взяті з довідника [20]. Для більшої універсальності осмотичний тиск на рис. 1 представлений у безрозмірному вигляді. При цьому за одиничний прийнято тиск при температурі 4°C та густині рідини 1000 кг/м^3 . Як видно з рисунку, певні відхилення виразу (1) від виразу (2) для прісної води помітні вже при температурі, яка є вищою за 10°C . Особливо помітними відхилення у значеннях осмотичного тиску, підрахованих за виразами (1) та (2), стають при зміні солемісту рідини. Концентрація солей у рідині не врахована у виразі (1), а отже осмотичний тиск, підрахований за цим виразом, лишається незмінним (суцільна чорна лінія на рис. 1), тоді як вираз (2) демонструє суттєвий вплив солемісту на значення осмотичного тиску, особливо при високих концентраціях солей. Таким чином, можна зробити висновок, що вираз (2) є більш точним, тоді як вираз (1) є лише спрощенням виразу (2) при допущенні, що для цілей практики для більшості випадків можна вважати густину рідини сталою величиною, такою, що дорівнює 1000 кг/м^3 .

До двох інших важливих властивостей осаду біологічного походження належать його здатність опиратись прикладеним горизонтальному зсувному зусиллю та компресійному тиску.

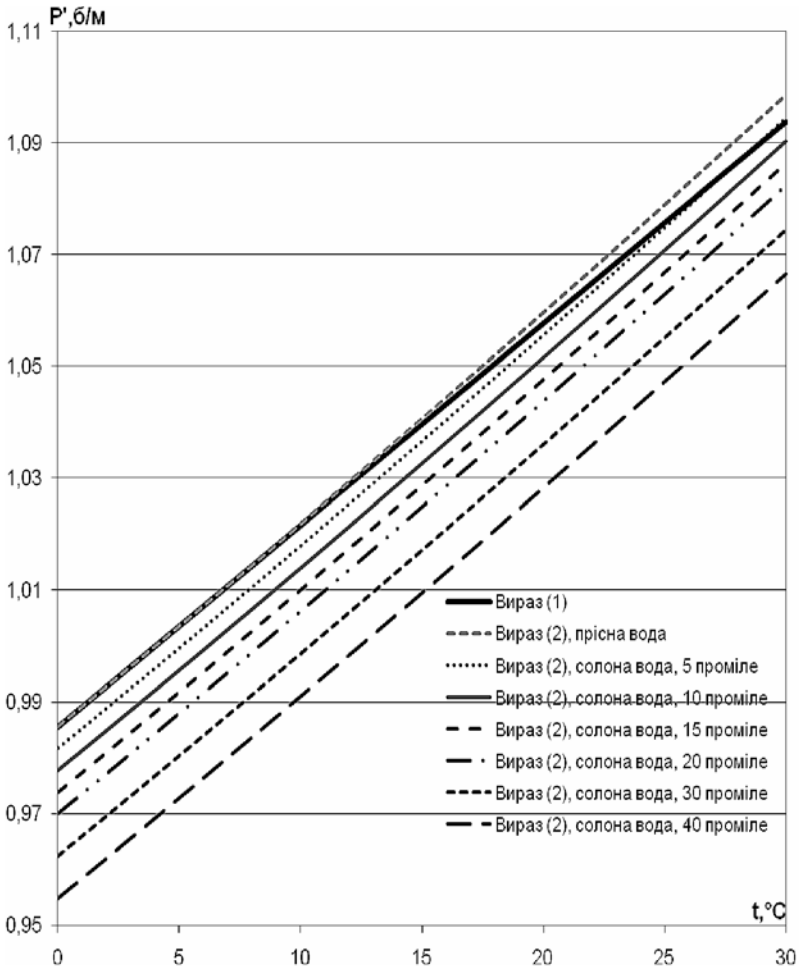


Рис. 1. Зміна осмотичного тиску з температурою та солесмістостю.

Для того щоб зменшити об'єм біологічного осаду, він має бути зневодненим. Проте внаслідок тиксотропності досить важко видалити воду з таких осадів біологічного походження як, наприклад, зброджений активний мул. Біологічні осадки стають тиксотропни-

ми, коли вміст твердої фази по об'єму досягає певного граничного рівня, який називають точкою утворення гелю [21]. Тиксотропність це здатність осаду утворювати гель у стані спокою та ставати текчим при трясці, збовтуванні або іншому зусиллі [20, 22]. Таке зусилля, яке зазвичай визначається як мінімальний прикладений тиск, потрібний, щоб визвати течію в колоїдній гелеподібній системі [15], називається межею текучості (МТ). МТ є важливим об'єктом досліджень, оскільки застосовується як показник утворення структурованої мулової системи при різноманітних умовах [8, 10, 11, 23].

Процес зневоднення відбувається, коли до осаду прикладається зовнішній тиск у спеціальному обладнанні, такому як фільтрпрес або центрифуга [20, 22, 24]. Катіоноактивні реагенти (органічні полімери або неорганічні сполуки, такі як FeCl_3) поліпшують ефективність зневоднення, змінюючи гелеподібну структуру осаду [17]. Останнім часом з'явилися нові методи, направлені на інтенсифікацію процесів зневоднення, серед яких можна виділити попередню ензимну [10, 25, 26] або міцелярну (із застосуванням мікрогрибів) [27] обробку осаду. Метою даних методів є зміна структури біологічних осадів, а отже їх фізичних властивостей, завдяки деструкції ензимами окремих компонентів осаду, таких як позаклітинні органічні речовини [18] або заміщенню бактеріального метаболізму міцелярним [27].

Консолідаційні властивості структурованого осаду можна оцінити також за допомогою іншого фундаментального реологічного параметру — межі еластичності (МЕ). Характеризуючи компресійний тиск, вище якого структурований осад буде нееластично ущільнюватись до більш високих концентрацій твердої речовини, призводячи до руйнування гелю, МЕ має важливе значення при дослідженні процесів згущення та зневоднення осаду [11, 15, 21]. Інакше кажучи, біологічний осад, який має гелеподібну структуру, може, не деформуючись, опиратись певному навантаженню; а тому МЕ позначає тиск, вище якого починається процес зневоднення.

МЕ, МТ та осмотичний тиск належать до основних властивостей осадів біологічного походження, які впливають на його здатність до зневоднення та є об'єктом поточних досліджень певної кількості наукових груп у всьому світі [9, 10, 11, 19, 28].

Висновки

Осмотичний тиск, межа текучості та межа еластичності належать до основних властивостей осаду біологічного походження, які впливають на його здатність до зневоднення при концентрації твердої фази, що є більшою за точку утворення гелю. Запропоновано новий вираз для підрахунку осмотичного тиску осаду, що є модифікацією рівняння Кейдинга, але базується на молярній, а не молярній концентрації розчину, а тому враховує густину водної фази осаду. Показано, що запропонований вираз є більш досконалим, оскільки дозволяє врахувати солеміст розчинника та точніше визначати зміну осмотичного тиску з температурою.

* * *

1. Environmental Performance Review. Ukraine / Committee on Environmental Policy, Economic Commission for Europe, United Nations, New York and Geneva, 2007, 194 p.

2. Эпоян С.М. Направления повышения эффективности обезвоживания осадков городских сточных вод / С.М. Эпоян, Е.Н. Орлова // Научный вестник строительства, 2009 (51), 104—107.

3. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Москва, Стройиздат, 1986, 72 с.

4. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. — 3-е изд., перераб. и доп./ И.С. Туровский. — М.: Стройиздат, 1988. — 256 с.

5. Терещук А.И. Исследование и переработка осадков сточных вод / А.И. Терещук. — Львов: Вища шк., 1988. — 148 с.

6. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика / Под ред. В.Н. Самохина. — Москва: Стройиздат, 1981. — 638 с.

7. Keiding K. Osmotic effects in sludge dewatering / K. Keiding, M.R. Rasmussen // Advances in Env. Res., 2003 (3), vol. 7, 641—645.

8. Ayol A. Rheological characterization of sludges during belt filtration dewatering using an immobilization cell / A. Ayol, S. K. Dentel, A. Filibeli // J. Envir. Engrg., 136 (2010), 992—999.

9. The influence of ionic strength and osmotic pressure on the dewatering behaviour of sewage sludge / D. Curvers, S.P. Usher, A.R. Kilcullen, P.J. Scales, H. Saveyn, P. Van der Meeren // Chem. Eng. Sci., 64 (2009), 2448—2454.

10. Dentel S. K. Shear sensitivity of digested sludge: Comparison of methods and application in conditioning and dewatering / S. K. Dentel, D. Dursun // Wat. Res., 43 (2009), 4617—4625.

11. Gladman B. R. The effect of shear on gravity thickening: Pilot scale modelling / B. R. Gladman, M. Rudman, P. J. Scales // *Chem. Eng. Sci.*, 65 (2010), 4293—4301.

12. Fundamental dewatering properties of wastewater treatment sludges from filtration and sedimentation testing / A. D. Stickland, C. Burgess, D. R. Dixon at al. // *Chem. Eng. Sci.*, 63 (2008), 5283—5290.

13. Channell G. M. Effects of microstructure on the compressive yield stress / G. M. Channell, K. T. Miller, Ch. F. Zukoski // *AIChE Jour.*, 46 (2000), 72—78.

14. Keiding K. Remember the water — a comment on eps colligative properties / K. Keiding, L. Wybrandt, P. H. Nielsen // *Water Sci. Technol.*, 43, 6 (2001), 17—23.

15. Johnson S. B. Surface chemistry—rheology relationships in concentrated mineral suspensions / S. B. Johnson, G. V. Franks, P. J. Scales at al. // *Int. J. Miner. Process.*, 58 (2000), 267—304

16. Болдырев А. И. Физическая и коллоидная химия / А.И. Болдырев. — М.: Высшая школа, 1974. — 504 с.

17. Dursun D. Toward the conceptual and quantitative understanding of biosolids conditioning: the gel approach / D. Dursun, S. K. Dentel // *Wat. Sci. & Tech.*, vol. 59, 9(2009), 1679—1685.

18. Dentel S. K. Biosolids as gel-like materials: from theory to practical applications / S. K. Dentel, D. Dursun // *Chem. Eng. J.*, in press.

19. A centrifugation method for the assessment of low pressure compressibility of particulate suspensions / D. Curvers, H. Saveyn, P. J. Scales, P. Van der Meeren // *Chem. Eng. J.*, 148 (2009), 405—413.

20. Курганов А. М. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации / А. М. Курганов, Н. Ф. Федоров. — Л.: Ленинградское отделение Стройиздата, 1973. — 408 с.

21. Verrelli D. I. Assessing dewatering performance of drinking water treatment sludges / D. I. Verrelli, D. R. Dixon, P. J. Scales // *Wat. Res.*, 44 (2010), 1542—1552.

22. Барак К. Технические записки по проблемам воды, «Дегремон» / К. Барак, Ж. Бебен, Ж. Бернар, под ред. Т.А. Карюхиной, И.Н. Чурбановой, пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1983. — Т. I. — 680 с.

23. Schumacher S. Leistungsbestimmende Prozesse in Nachklärbecken — Einflussgrößen, Modellbildung und Optimierung (Kapitel 3.3.5. Rheologie) / Schumacher S. // *Genehmigte Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor-Ingenieur, Bericht Nr.73/2006, Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen der Universität Hannover, 2006, 137 S.*

24. Кушка А. Н. Обезвоживание ферромагнитных шламов / А. Н. Кушка, Н. Г. Степовая, Г. М. Кочетов // *Экотехнологии и ресурсосбережение*, 2 (2003), 52—54.

25. Ayol A. Enzymatic treatment effects on dewaterability of anaerobically digested biosolids — II: laboratory characterizations of drainability and filterability / A. Ayol, S. K. Dentel // *Process Biochem* 40 (7), 2004, 2427—2434.

26. Dursun D. Enhanced sludge conditioning by enzyme pretreatment: comparison of laboratory and pilot scale dewatering results / D. Dursun, M. Turkmen, M. Abu-Orf, S. K. Dentel // *Water Sci. Technol*, 54 (2006), 33—41.

27. Flerie S. Patent description / Flerie S. // *Societe d’Amenagement Urbain et Rural*, Patent description 2004129754/13, FR 02/01608 (14.05.2002), WO 03/076351 (18.09.2003).

28. Ormeci B. Measurement of additional shear during sludge conditioning and dewatering / B. Ormeci, A. Ahmad // *Wat. Res.*, 43(2009), 3249—3260.

Отримано: 1.02.2011 р.