

А.М.ГІРОЛЬ, аспірант

Національний університет водного господарства та природокористування
(м.Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ІСНУВАННЯ ВІЛЬНО ПЛАВАЮЧОГО ЗЕРНИСТОГО ШАРУ БІОФІЛЬТРІВ ЗІ СПІНЕНИХ ГРАНУЛ ПОЛІСТИРОЛУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

В роботі висвітлені результати досліджень умов існування сухого вільно плаваючого зернистого шару біофільтрів зі спінених гранул полістиролу для очищення стічних вод, показана закономірність відносного занурення нижньої його межі.

Ключові слова: стічні води; біофільтр; полістирол; гранули; плаваючий шар; занурення.

В работе освещены результаты исследований условий существования сухого свободно плавающего зернистого слоя биофильтров из вспененных гранул полистирола для очистки сточных вод, показана закономерность относительного погружения нижней его границы.

Ключевые слова: сточные воды; биофильтр; полистирол; гранулы; плавающий слой; погружение.

The results of the study on the conditions of existence of the dry free-flowing grain filter layer of foamed polystyrene in the biofilters for wastewater treatment are discussed in the article. The observed dependence between the specific weight of the grains and the position of the lower boundary of the free-flowing filter bed is provided.

Key words: wastewater; biofilter; polystyrene; foamed grains; free-flowing filter bed.

Проблеми очищення стічних вод з бігом часу набирають все більшої гостроти. Сумарну потужність очисних споруд в Україні оцінюють у 8,1 км³/рік. В супереч цьому у водні об'єкти України неочищеними скидається 3,89 км³/рік, нормативно чистими – 3,29 км³/рік і лише 1,3 км³/рік очищеними до чинних нормативів. [1]. Щорічно в Україні об'єми відведення комунальних стічних вод сягають 2×10⁹ м³, глибина очищення значної частини яких не відповідає діючим вимогам [2,3]. Ще складнішою складається ситуація зі збором та очищенням стічних вод в малих населених пунктах. Значення

цього показника в цілому по Україні не перевищує 3% [2]. Ця надзвичайно важлива проблема перебуває під постійною увагою держави [1-5].

Найбільш поширеними технологічними схемами для очищення стічних вод малих населених пунктів є схеми, основною спорудою яких є біофільтри [6-13].

Біологічні фільтри застосовують для одноступінчастого повного біологічного очищення стічних вод, або неповного біологічного очищення стічних вод, як перший ступінь перед наступними спорудами повного біологічного очищення стічних вод із нітрифікацією амонійного азоту на другому ступені після біологічних фільтрів або аеротенків [6].

Біологічні фільтри виконують у вигляді ємності заповненої зернистим мінеральним або полімерним матеріалом розміри частинок якого сягають 30-80 мм [7,9]. Процес біологічного очищення стічних вод в таких спорудах протікає в штучно створених умовах. Забруднена вода у вигляді краплинного зрошення подається на поверхню зернистого матеріалу. Проходячи через зернистий матеріал біофільтра, забруднена вода внаслідок адсорбції залишає на його поверхні завислі і колоїдні органічні речовини, які не осіли в первинних відстійниках. Затримані на поверхні зернистого матеріалу мікроорганізми і забруднення органічного походження формують біоплівку, густо заселену мікроорганізмами. Мікроорганізми біоплівки окислюють органічні речовини та отримують необхідну для своєї життєдіяльності енергію. Частина розчинених органічних речовин мікроорганізми використовують для збільшення своєї маси. Таким чином, із стічної води віддаляються органічні речовини, а в тілі біофільтра збільшується маса активної біологічної плівки. Відпрацьована і омертвіла плівка змивається протоком стічної води і виноситься з біофільтра, потрапляючи у вторинний відстійник [7,8].

З метою підвищення ефективності роботи споруд в практиці очищення стоків достатнього поширення набули біофільтри з природною і з штучною вентиляцією зернистого матеріалу (аерофільтри) [7]. Зростанню ефективності очищення води на біофільтрах сприяє зростання питомої площі поверхні їх зернистого матеріалу [9].

В практиці очищення води все більшого поширення набувають фільтри з плаваючим фільтруючим шаром [14,15]. Такі фільтри показали хороші результати роботи і в технології доочищення стічних вод [16]. Проте робота фільтруючого шару за умов повного його занурення під рівень води зумовлює нестачу повітря для ефективної життєдіяльності біоценозу, прикріпленого до поверхні гранул і затриманого в порах засипки. Через нестачу кисню в товщі фільтруючого шару не вдається використати повною мірою переваг цього технічного рішення.

Задачею цієї роботи є дослідження умов існування біофільтра з незануреним під рівень води вільно плаваючим фільтруючим шаром в об'єм якого може вільно потрапляти кисень повітря, сприяючи тим самим

підвищенню життєдіяльності біоценозу, і, як наслідок, зростанню ефективності очищення стічної води.

Для вирішення цієї задачі в лабораторних умовах нами було проведено серію дослідів з полістиролом різного фракційного складу і різної питомої маси спінених гранул (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних спінених гранул полістиролу

d, мм	2,25	2,75	3,25	3,75	4,25	4,75	5,5	6,5
Питома маса насипного шару, ρ_{sn} , кг/м ³	180,2	145,1	115,7	92,6	72,8	59,2	42,2	27,7
Питома маса гранули, $\rho_s = \rho_{sn}/(1 - \epsilon_0)$ кг/м ³	316,1	254,6	203,0	162,5	127,7	103,9	74,0	48,6

Примітка: Поруватість зернистого шару сухого полістиролу прийнято рівною $\epsilon_0 = 0,43$ [17]

Приготування фільтруючого матеріалу передбачало просіювання бісеру полістиролу з наступним його спінюванням в киплячій воді. Тривалість спінювання приймалась в межах 45...60 с. Спінений матеріал просушувався на відкритому повітрі впродовж 3-х діб. Висушений спінений матеріал повторно просіювався. Для просіювання проб матеріалу використовувався набір метало-пробивних лабораторних сит (ТУ 23.2.2068-94, тип І). За розмір гранул відібраної проби приймалось середнє значення розміру вічок сита через яке матеріал просіявся і розмір вічка сита на якому він затримався (рис.1) [17].

Для визначення маси гранул затриманих на кожному ситі використовувалися ваги лабораторні загального призначення за ГОСТ 24104, клас точності 2 [17]. Перед визначенням маси проби вона попередньо впродовж 24 годин витримувалася в термостаті за температури 40°C¹. Об'єм проб в залежності від крупності їх гранул визначався за допомогою мірних циліндрів об'ємом 200...1000 мл. Заміри рівня заповнення об'єму циліндра спіненими гранулами полістиролу проводились за осередненою поверхнею верхньої крайки зернистого шару і показами градуйованої шкали циліндра.

Досліди проводилися в установці, яка мала вигляд прямокутного паралелепіпеда з дном. Корпус установки виконано з органічного скла. Розміри в плані установки сягали 100×100 мм, висота – 1000 мм (рис.1). Висота шару спінених гранул полістиролу, висота рівня води в установці, глибина занурення нижньої частини вільно плаваючого шару контролювалися за допомогою лінійки з міліметровими поділками. Верхня і нижня межа зернистого шару, висота рівня води в його товщі приймалась як осереднене

¹ Значення температури просушування спінених гранул полістиролу зумовлене ймовірністю виникнення умов подальшого спінювання гранул. Мінімальна температура спінювання $\approx 100C^0$ [14].

значення через яку проходить умовна площина.

Досліди проводилися за температури води 14°C .

Під час проведення дослідів послідовно вивчалися умови існування сухого вільно плаваючого зернистого шару зі спінених гранул полістиролу різного гранулометричного складу ($d = 2,25 \dots 6,5$ мм), різної питомої маси ($\rho_s = 48,6 \dots 334,7$ кг/м³) і різної його товщини (22,1...80,3 см) (табл.2).

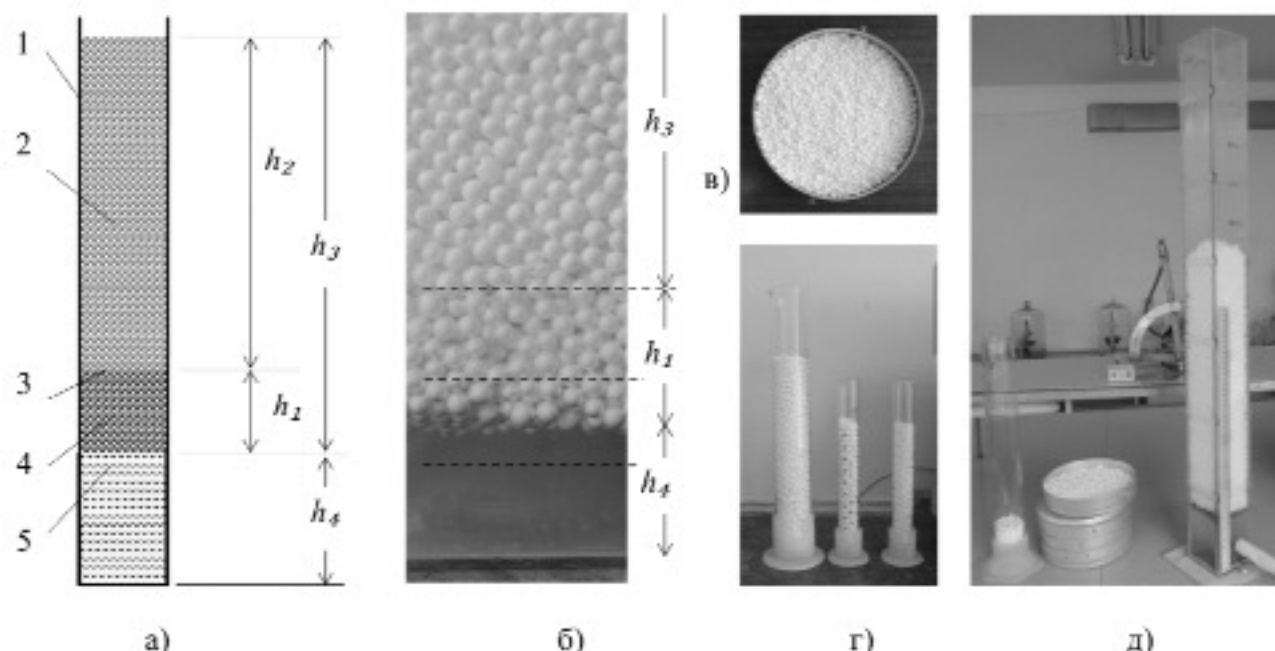


Рис. 1. Схема експериментальної установки

а – схема установки; б – знімок нижньої межі зернистого шару і рівня води в його товщі; в – знімок просіюваного полістиролу; г – знімок циліндрів вимірювання об'єму проб полістиролу; д – знімок загального вигляду установки

1 – корпус установки; 2 – не занурена частина сухого зернистого шару спінених гранул полістиролу; 3 – границя рівня води в товщі зернистого шару; 4 – занурена частина сухого зернистого шару спінених гранул полістиролу; 5 – вода; h_1 – висота зануреного зернистого шару; h_2 – висота не зануреного зернистого шару; h_3 – загальна висота зернистого шару; h_4 – висота розташування нижньої зануреної межі зернистого шару над дном установки

Попередньо нижня частина установки заповнювалася водою на висоту 25 см. Опісля на поверхню води досипався шар полістиролу певної товщини, проводилися заміри, як загальної товщини шару полістиролу, так і його товщини, яка занурена під рівень води. Після завершення першого циклу замірів в установку досипався полістирол висотою шару 10...20 см тієї ж фракції. Заміри повторювалися. Досліди проводилися шляхом 4-ри разового досипання однієї і тієї ж фракції полістиролу з наступним проведенням

відповідних замірів. Максимальна висота досліджуваного шару полістиролу сягала 80,3 см.

Після завершення замірів з першою досліджуваною фракцією полістиролу установка спорожнявалася від полістиролу і води.

З іншими фракціями полістиролу досліди проводилися за аналогічною методикою.

З отриманих даних є очевидним, що найменшій товщині зернистого шару (h_3) одного і того ж фракційного складу відповідає найменша глибина його занурення під рівень (h_1), проте зі зростанням параметра h_3 лінійно зростає і величина параметра h_1 (рис.2).

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень умов існування сухого вільно плаваючого зернистого шару зі спінених гранул полістиролу біофільтрів для очищення стічних вод

Найменування параметрів шару	Значення параметрів шару				Середнє значення h_2/h_1
h_3 , см ($\rho_s=334,7$ кг/м ³)	24,5	38,5	50,6	80,3	-
Занурення шару, h_1 , см	8,2	13,1	17,5	31,1	-
h_1/h_3	0,335	0,340	0,346	0,387	0,352
h_3 , см ($\rho_s=250,0$ кг/м ³)	22,1	35,3	46,5	66,2	-
Занурення шару, h_1 , см	5,4	8,9	11,5	16,4	-
h_1/h_3	0,244	0,252	0,247	0,248	0,248
h_3 , см ($\rho_s=194,2$ кг/м ³)	23,5	34,3	46,4	57,3	-
Занурення шару, h_1 , см	4,6	6,5	8,9	11,0	-
h_1/h_3	0,196	0,190	0,192	0,192	0,192
h_3 , см ($\rho_s=165,6$ кг/м ³)	22,3	37,1	48,3	61,7	-
Занурення шару, h_1 , см	3,6	6,1	7,9	10,1	-
h_1/h_3	0,161	0,164	0,164	0,164	0,163
h_3 , см ($\rho_s=124,0$ кг/м ³)	23,3	38,5	50,1	60,3	-
Занурення шару, h_1 , см	2,8	4,9	6,3	7,4	-
h_1/h_3	0,120	0,127	0,126	0,123	0,124
h_3 , см ($\rho_s=99,1$ кг/м ³)	22,3	40,2	51,1	79,6	-
Занурення шару, h_1 , см	2,2	4,9	5,1	6,9	-
h_1/h_3	0,099	0,122	0,100	0,087	0,102
h_3 , см ($\rho_s=74,0$ кг/м ³)	23,1	34,7	44,8	56,9	-
Занурення шару, h_1 , см	1,6	2,6	3,4	4,1	-
h_1/h_3	0,069	0,075	0,076	0,072	0,073
h_3 , см ($\rho_s=48,6$ кг/м ³)	24,3	36,9	47,3	58,6	-
Занурення шару, h_1 , см	1,1	1,8	2,3	2,7	-
h_1/h_3	0,045	0,049	0,049	0,046	0,047

Примітка: ρ_s – питома маса гранул зернистого шару; h_3 – загальна висота зернистого шару

Така закономірність спостерігається для усіх досліджуваних проб полістиролу. Для полістиролу одного і того ж фракційного складу проте різного значення питомої маси гранул глибина початкового занурення h_1 є більшою ніж значення аналогічного показника для шару з меншим значенням параметра ρ_s (рис. 2).

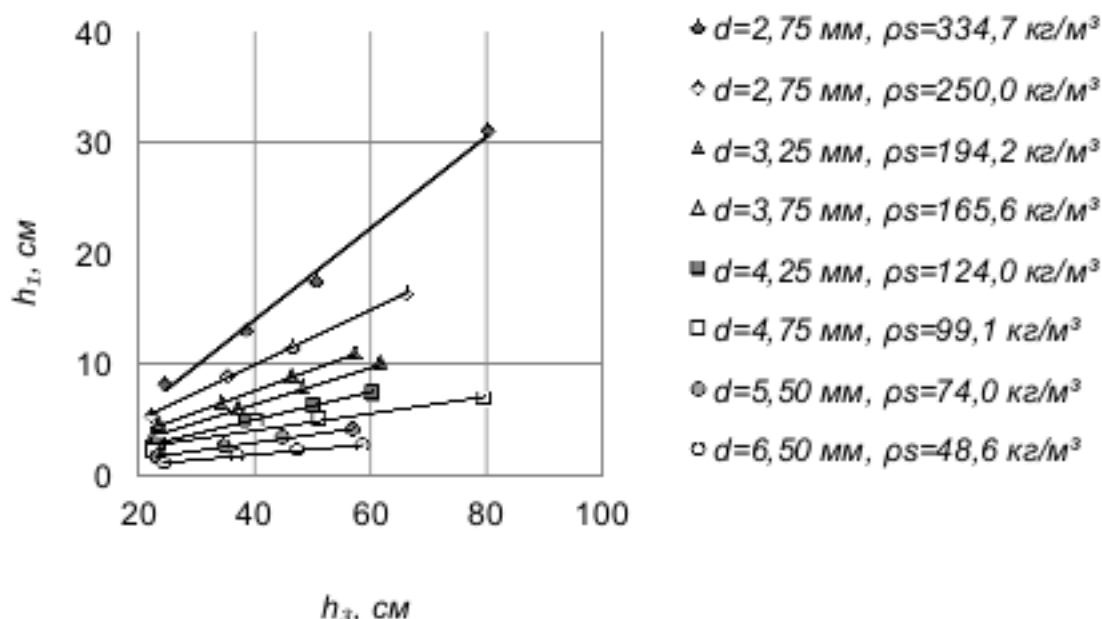


Рис.2. Закономірності залежності параметра h_1 від h_3

Варто відзначити, що зі зменшенням питомої маси гранул зернистого шару (ρ_s) початкова величина h_1 (значення початкового h_1 в усьому діапазоні зміни ρ_s) зменшується, що, очевидно, зумовлене зростанням Архімедової сили виштовхування.

Спостерігається практично сталі значення співвідношення між h_3 і h_1 для зернистого шару певного фракційного складу усьому діапазоні зміни параметра h_3 . Незначні відхилення значень параметра h_3/h_1 для різних значень параметра h_3 ймовірно зумовлене похибками в вимірюванні основних параметрів зернистого шару. Проте, зі зміною питомої маси гранул значення параметра h_3/h_1 також змінюється. Закономірність такої зміни носить лінійний характер (рис.3). Тобто, чим більше значення параметра ρ_s тим більшого значення набуває параметр h_3/h_1 . Величина відносного занурення нижньої межі зернистого шару під рівень води зростає.

На точності вимірювань позначається нерівномірність капілярного підняття води в порах зернистого шару, а також неможливість досягнення пласкої поверхні нижньої його межі (рис.1 б). Слід взяти до відому також те, що забезпечення сталої величини поруватості зернистого шару та сталої величини питомої маси кожної гранули полістиролу є доволі складною

проблемою. На практиці значення цих показників змінюються в певному діапазоні [14-16].

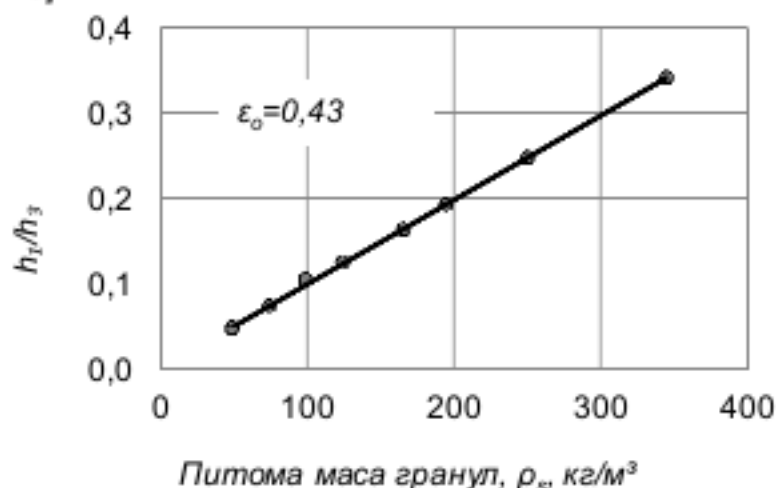


Рис. 3. Закономірності залежності параметра h_1/h_3 від ρ_s

Висновки

1. Висота занурення нижньої межі вільно плаваючого зернистого шару зі спінених гранул полістиролу є пропорційною висоті не зануреній його частині і питомій масі гранул.

2. Частка занурення під рівень води нижньої межі вільно плаваючого зернистого шару зі спінених гранул полістиролу є пропорційною питомій масі гранул і не залежить від їх діаметра.

Список літератури

1. *Водна стратегія України на період 2011-2020 років* (проект). Національна академія аграрних наук України, Державний комітет України по водному господарству, Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ 2010. – 30 с.

2. *Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році*. Під загальною редакцією ДП «НДКТІ МГ». – К.: 2013. – 450 с.

3. *Про стан виконання рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 лютого 2009 року «Про стан безпеки водних ресурсів держави та забезпечення населення якісною питною водою в населених пунктах України»* Рада національної безпеки і оборони України. Рішення від 25 квітня 2013 року.

4. *Закон України Про Загальнодержавну програму "Питна вода України" на 2006-2020 роки* (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2005, N 15, ст.243).

5. *Загальнодержавна цільова програма "Питна вода України" на 2011-2020 роки* Затверджено Законом України від 3 березня 2005 року N 2455-IV.

6. ДБН В.2.5 – Державні будівельні норми України. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. К.: 2013. – 205 с.

7. Гіроль М.М., Гіроль А.М., Гіроль А.М. Технології водовідведення промислових підприємств. Навчальний посібник. – Рівне. – 611 с.

8. Гіроль М.М., Проценко С.Б., Гіроль А.М. Проектування систем водовідведення, очищення та утилізації стічних вод в малих населених пунктах та сільській місцевості /За заг.ред. д.т.н., проф., завідувача кафедри ВТГВ Гіроля М.М. і к.т.н., доцента кафедри ВТГВ Проценка С.Б./ Монографія. – Рівне: НУВГП, 2013.– 65 с.

9. Metcalf & Eddy, Georg Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. – Mc Graw-Hill. International Edition, 2004. – 1819 p.

10. Łomotowski J., Szpindor A. Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków. Wydawn. „Arkdy”. – Warszawa. 2002. – 456 st.

11. Szpindor A. Zaopatrzenie w wodę i kanalizacja wsi. Wydawn. „Arkdy”. – Warszawa. 1998. – 474 st.

12. Heidrich Z., Kalenik M., Podedworna J., Stańko G. Sanitacja wsi. Wydawn. „Seidel-Przywecki” Sp. Z o.o. – Warszawa. 2008. – 374 st.

13. Poradnik eksploatatora oczyszczania ścieków. Praca zbiorowa pod redakcją Z.Dymaczewskiego. – Poznań. – 1152 st.

14. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. – М.: АкваПромИнжиниринг, 2011. – 536 с.

15. Орлов В.О., Зошук А.М., Мартинов С.Ю. Пінополістирольні фільтри в технологічних схемах водопідготовки. /Під загальною редакцією В.О.Орлова. – Рівне: РДТУ, 1999. – 143 с.

16. Гироль Н.Н., Журба М.Г., Семчук Г.М., Якимчук Б.Н. Доочистка сточных вод на зернистых фильтрах. Под общ.ред. Н.Н. Гироля. – К.: Типография «Левобережная», 1998. – 92 с.

17. ГОСТ Р 51641-2000. Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия. Издание официальное. Госстандарт России. – М.: 2003. – 14 с.

Надійшло до редакції 11.06.2014