

Дослідження потічка в яру, що бере свій початок в с. Збиранка, показали, що його екологічний і санітарно-гігієнічний стан не всюди однаковий. У пробі № 163 виявлено перевищення ГДК за загальною жорсткістю, вмістом заліза та кадмію. У той самий час за санітарно-мікробіологічними показниками води повністю відповідають НТД.

За даними аналізів трьох проб №165, 166, 167, відібраних у межах с. М. Грибовичі, у водах є перевищення ГДК за окиснюваністю, вмістом заліза та БСК5, а санітарний стан вод за більшістю проб не відповідає НТД.

Дослідження джерел, розташованих у с. Збиранка та с. М. Грибовичі, вказують на неоднакову якість їх вод. У джерелі с. Збиранка (проба № 174) вода не відповідає вимогам НТД, а також підвищена окиснюваність. У джерелі, розташованому у М. Грибовичах (проба № 164), вода характеризується високою жорсткістю, перевищенням ГДК за вмістом кадмію, незадовільним санітарним станом.

Висновки. Отже, проаналізувавши проблему накопичення ТПВ в м. Львові, можна зробити висновок, що полігон твердих побутових відходів належить до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, які створюють негативний вплив на гідросферу. Для того, щоб вирішити проблему утилізації твердих побутових відходів, необхідно реалізувати багато організаційних, експлуатаційних і проектно-будівельних завдань, які не вимагають вкладення великих інвестицій, а також підвищити екологічну свідомість населення.

1. Мольчак Я.О., Фесюк В.О., Картава О.Ф. Луцьк: Сучасний екологічний стан та проблеми. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2003. – 488 с. 2. Мальований М.С. Шляхи утилізації твердих відходів // Екологічний вісник. – 2004. – №1. – С. 10. 3. «Екологія Львівщини-2008», Держуправління ОНПС в Львівській області. – Львів, 2009. – 160 с. 4. Малик Ю.О., Петрушка І.М., Малик Н.Ю. Проблема утилізації твердих побутових відходів в системах заходів з охорони довкілля. – Львів: Вісник НУ «Львівська політехніка» «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – 2005. – № 529. – С. 184 – 187. 5. Красненский М.Е. Утилизация и рекультивация отходов: учеб. пособ. – Донецк: ДонНТУ, Лебедь, 2004. – 150 с.

УДК 66.047

І.О. Гузьова, В.М. Атаманюк, М.М. Грегораши
Національний університет «Львівська політехніка»,
кафедра хімічної інженерії

ВИВЧЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ СТАЦІОНАРНОГО СУХОГО ШАРУ ГРАНУЛЬОВАНОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

© Гузьова І.О., Атаманюк В.М., Грегораши М.М., 2011

Наведено результати дослідження впливу швидкості руху теплоносія та геометричних параметрів сухого шару гранульованого поліетилену на його гідравлічний опір. Проведені узагальнення результатів дослідження з гідродинаміки стаціонарного сухого шару гранульованого поліетилену.

Ключові слова: гідродинаміка, гранульований поліетилен, сушіння.

In the article the results of researches of influence of the heatcarrier velocity, geometrical parameters and physical properties of environment on hydraulic resistance of a dry layer the dispersive material are presented. The methods of the generalized of results of research the hydrodynamics of the heatcarrier movement through a dry layer of the granular polyethylene.

Key words: hydrodynamics, granulated polyethylene, drying.

Полімерні матеріали мають комплекс характеристик, які за умілого їх використання забезпечують ефективні експлуатаційні властивості виробів та рентабельність їх виробництва. До основних переваг полімерів належать:

- висока технологічність, завдяки якій з виробничого циклу можна вилучити трудомісткі та дорогі операції механічної обробки виробів;
- мінімальна енергомiсткість зумовлена тим, що температура переробки цих матеріалів становить, як правило, 150 — 250 °С, що значно нижче, ніж у металів та кераміки;
- можливість отримання за один цикл формування відразу кількох виробів, зокрема складної конфігурації;
- фактично усі процеси переробки автоматизовані.

Унаслідок перелічених особливостей полімери отримали широке розповсюдження та ефективно використовуються фактично в усіх галузях світового господарства.

Одним з найпоширеніших полімерів є поліетилен. З поліетилену виготовляють товари народного вжитку – посуд, пляшки, дитячі іграшки, меблі, різноманітні побутові речі. У техніці широко розповсюджена поліетиленова трубопровідна арматура, яка не кородує та витримує високі тиски. У різних галузях медицини поліетилен використовується для протезування судин, клапанів серця, суглобів.

Постановка проблеми. Основною сировиною для виробництва поліетилену є мономер, який належить до групи олефінів – етилен. Етилен утворюється під час термічних і каталітичних процесів переробки нафти, а також за умов піролізу і гідрування вуглеводневих газів групи парафінів.

Під дією високих температур та тисків в автоклавному чи трубчастому реакторах відбувається реакція полімеризації в розплаві за радикальним механізмом. Кінцевою стадією такого виробництва є просування розплаву полімеру через стренгові отвори, на виході з яких відбувається зріз полімеру на гранули за допомогою ножа. Далі гранули охолоджуються, механічно зневоднюються та сушаться переважно в сушарках з «киплячим» шаром або у вібросушарках. Гранульований поліетилен, зазвичай, має розмір частинок 2 – 5 мм. Процеси зневоднення та сушіння є енергомiсткими стадіями виробництва та вимагають значних капіталовкладень.

Як об'єкти сушіння полімери поділяються на чотири групи в порядку зменшення критичного діаметра пор. Поліетилен належить до четвертої групи – матеріали з ультрамікропористою структурою, розміри пор яких співрозмірні з розмірами молекул рідини, що видаляється. Такі матеріали містять переважно зв'язану вологу і характеризуються довготривалим другим періодом сушіння. Процес сушіння поліетилену може тривати кілька годин [5]. Саме тому з метою вдосконалення та утворення енергоощадних технологій надзвичайно важливим є правильний вибір методу сушіння, а також типового апарата для реалізації цього методу, який би забезпечив короткий час для сушіння та надавав можливість підвести необхідну кількість теплоти для руйнування зв'язку вологи з матеріалом.

Автори запропонували метод поєднання процесу механічного зневоднення та сушіння шляхом профільтрування теплового агента в напрямі «шар гранульованого полімеру – перфорована перегородка» під дією перепаду тисків.

Такий метод передбачає механічне винесення поверхневої вологи та рівномірність проходження теплоносія по усіх каналах між гранулами, що дає змогу якісно висушити матеріал до заданої вологості. Також фільтраційний метод сушіння за рахунок великої площі контакту фаз дасть змогу зменшити тривалість другого періоду сушіння, який для полімерів може тривати кілька годин.

Першим етапом вивчення цього методу сушіння є дослідження впливу витрати теплового агента на гідравлічний опір шару сухого поліетилену.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Узагальнення експериментальних даних з гідродинаміки стаціонарних шарів дисперсних матеріалів проводять на основі рівняння Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta p = l \cdot \frac{H_e}{d_e} \cdot \frac{r \cdot w^2}{2}, \quad (1)$$

де I – коефіцієнт гідравлічного опору стаціонарного шару дисперсного матеріалу; H_e – довжина каналів в шарі матеріалу, м; $H_e = 1.5 \cdot H$ згідно з рекомендаціями [1, 2]; H – висота шару матеріалу, м; d_e – еквівалентний діаметр каналів між частинками, м; r – густина теплового агента, кг/м³; w – дійсна швидкість руху теплового агента, м/с; $d_e = \frac{4 \cdot e}{a}$; $w = \frac{w_0}{e}$; e – вільний об'єм шару, м³/м³; a – питома поверхня шару, м²/м³; ω_0 – фіктивна швидкість руху теплового агента, м/с.

Дослідженню гідродинаміки стаціонарного шару дисперсного матеріалу присвячені праці багатьох дослідників [1 – 4, 10]. Наведені у цих роботах результати теоретичних та експериментальних досліджень стосуються конкретних дисперсних матеріалів, режимів руху теплового агента, геометричних розмірів лабораторного обладнання та, як свідчать автори, з високою точністю дають змогу прогнозувати економічну доцільність використання того чи іншого сушильного обладнання.

Проте врахувати вплив окремих частинок неправильної форми, структуру шару, яка формується здебільшого стихійно, вивести універсальну залежність для розрахунку гідравлічного опору стаціонарного шару дисперсного матеріалу без додаткових експериментальних досліджень та узагальнень дослідних даних є доволі важко.

Теорії, яка б однозначно давала змогу розрахувати гідравлічний опір шару дисперсного матеріалу, не існує, в зв'язку з чим виникають значні труднощі у визначенні коефіцієнта опору I .

Враховуючи аналіз літературних джерел [1–3], коефіцієнт опору (I) можна розрахувати згідно з залежністю $\lambda = \frac{133}{Re} + 2.34$, де критерій Рейнольдса знаходиться в межах $50 \div 7000$. Тоді розв'язком рівняння (1) є модифіковане рівняння Ергана (2), яке рекомендується застосувати на практиці:

$$\Delta p = \left[150 \cdot \frac{(1 - \epsilon^2)}{\epsilon^3} \cdot \frac{\mu \cdot \omega_0}{d_{\text{сеп}}^2} + 1.75 \cdot \frac{1 - \epsilon}{\epsilon^3} \cdot \frac{\rho \cdot \omega_0^2}{d_{\text{сеп}}} \right] \cdot H_e, \quad (2)$$

де $d_{\text{сеп}}$ – усереднений діаметр частинки, м; μ – в'язкість теплоносія, Па·с.

Проте розрахунок втрат тиску за рівнянням (2) дуже часто дає похибку порівняно з експериментальними значеннями [3, 4, 10]. Найбільших значень досягає похибка в шарі полідисперсного матеріалу з частинок неправильної форми. Найменша похибка – у монодисперсному шарі з рівномірним розподіленням порожнот (шари куль, гранул, зерен).

Інші літературні джерела [4, 10] вказують на те, що коефіцієнт опору (I) можна розрахувати згідно з залежністю $\lambda = \frac{A}{Re} + B$, де A та B – коефіцієнти, що враховують вплив інерційних та в'язкісних сил та знаходяться в експериментальний спосіб.

Проте, як вказують автори [1, 2], показник степеня величини Re залежить від режиму руху газового потоку крізь шар матеріалу і зменшується в межах від одиниці (в ламінарній області) до нуля (у турбулентній області).

Формулювання мети статті. Аналізуючи наукові дослідження, автори виявили необхідність на основі експериментальних досліджень встановити залежність коефіцієнта опору (I) від числа Рейнольдса (Re). На основі узагальнення експериментальних даних вивести рівняння для розрахунку гідравлічного опору стаціонарного шару гранульованого поліетилену. Порівняти експериментально визначений гідравлічний опір з розрахованим за виведеним рівнянням.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження був гранульований поліетилен високого тиску з усередненим діаметром частинок 3 мм, фотографію зразків якого показано на рис. 1.



Рис. 1. Гранульований поліетилен високого тиску з середнім діаметром частинок 3 мм

Для визначення коефіцієнта опору (I) дослідним шляхом автори провели експеримент. У контейнер циліндричної форми з перфорованим днищем засипався гранульований поліетилен. Висота шару підбиралася за такими міркуваннями: структура дисперсного матеріалу в об'ємі апарата і безпосередньо біля обмежувальних його стінок дещо відрізняється. Тому висоту шару матеріалу H під час проведення досліджень доцільно вибирати залежно від діаметра частинки d , користуючись таким співвідношенням: $H > 20 \cdot d_{\text{ср}}$ [1]. За допомогою вакуумного насоса і регулюючого вентиля встановлювалася різна витрата і відповідно фіктивна швидкість профільтровання теплоносія у напрямі «шар гранульованого поліетилену – перфорована перегородка». Під час встановлення певної витрати, яка вимірювалася за допомогою ротаметра, одночасно фіксувалася зміна гідравлічного опору сухого матеріалу вакууметром.

Результати залежності втрат тиску в шарі поліетилену від фіктивної швидкості теплового агента для різних висот показані на рис. 2.

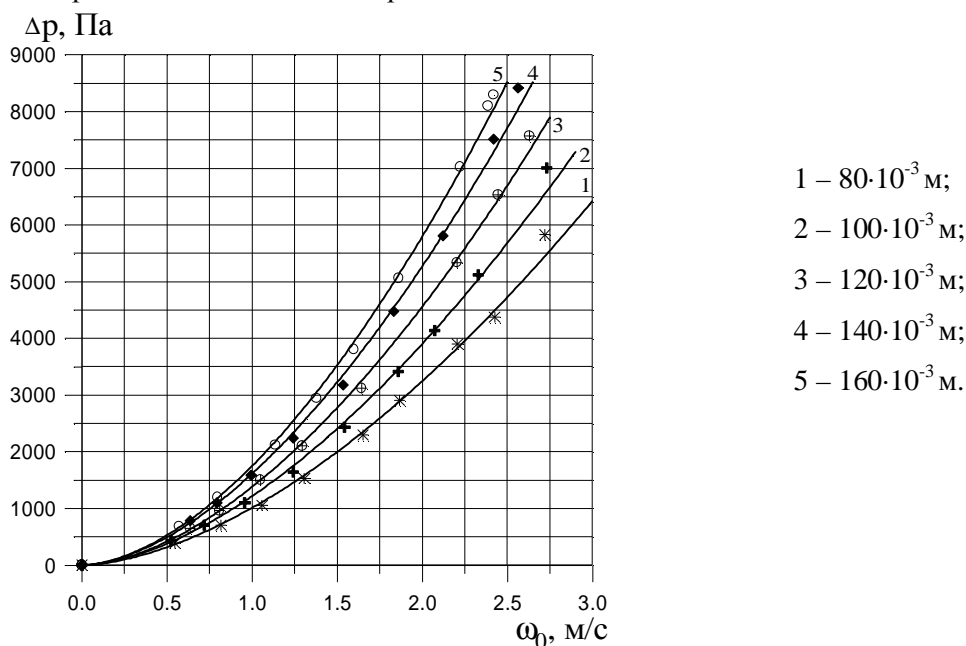


Рис. 2. Залежність втрат тиску в шарі сухого поліетилену від фіктивної швидкості руху теплоносія для різних висот шару матеріалу H

Втрати тиску в шарі сухого гранульованого поліетилену є невисокими. З рис. 2 бачимо, що опір шару заввишки 160 мм за швидкості теплового агента 1.5 м/с не перевищує 3,5 кПа. Таке явище пояснюється тим, що під час профільтовування теплоносія відсутнє явище «зсідання» матеріалу, відповідно пустоти між частинками рівномірно розподілені в об'ємі, еквівалентний діаметр шару не змінюється та є співрозмірним з середнім діаметром частинок. Як бачимо, криві мають параболічний характер і для їх описання можна використати рівняння Дарсі-Вейсбаха (1).

Для теоретичного розрахунку гідравлічного опору сухого гранульованого поліетилену скористаємося відомим рівнянням (2), яке, враховуючи літературні джерела [1, 2], мусить добре підходити для шарів, утворених частинками, у вигляді куль з рівномірним розподіленням пустот, яким є досліджуваний поліетилен. Проте експериментальні і розрахункові значення погано узгоджуються між собою і максимальна похибка перевищує $\pm 50\%$, що є недопустимим для практичних розрахунків сушильної техніки. Явище досить високої розбіжності автори можуть пояснити тим, що рівняння (2) виведене на основі експериментальних досліджень, які проводились в умовах проходження теплового агента крізь шар у напрямі «перфорована перегородка – сухий матеріал», тобто «знизу–вверх» [1, 2]. За умов такого методу дрібні частинки можуть переходити у зважений стан, що сприяє порушенню структури шару, тобто збільшенню його еквівалентного діаметра – величини, що входить у рівняння (2).

Враховуючи недоцільність використання рівняння (2), узагальнити результати залежності зміни гідравлічного опору поліетилену від швидкості руху теплоносія та геометричних параметрів шару автори вирішили таким методом.

Коефіцієнт гідравлічного опору з рівняння (1) можна подати у вигляді:

$$\lambda = 2 \cdot \frac{d_e}{H_e} \cdot \frac{\Delta p}{\rho \cdot \omega^2} \quad \text{або} \quad \lambda = 2 \cdot \frac{d_e}{H_e} \cdot Eu.$$

Використовуючи дослідні дані втрат тиску (Δp) та дійсної швидкості теплового агента (ω), можна знайти експериментальні значення коефіцієнта опору (λ).

Критерій Рейнольдса визначається з загальновідомої залежності для випадку внутрішньої задачі гідродинаміки.

Графік залежності коефіцієнта опору λ від критерію Рейнольдса Re показано на рис. 3.

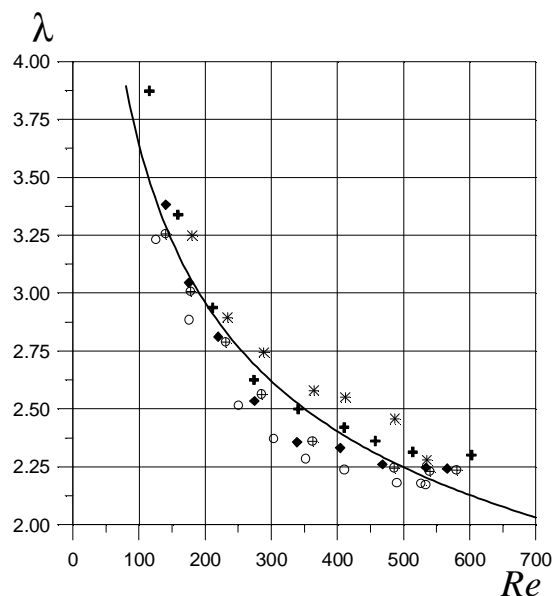


Рис. 3. Залежність коефіцієнта опору від величини Re за руху теплоносія крізь шар сухого поліетилену за зміни висоти його шару від 80 до 160 мм

Як бачимо з графіка (рис. 3), усі точки, які відповідають діапазону висот від 80 до 160 мм, можна узагальнити однією степеневою залежністю, рівняння якої має вигляд:

$$\lambda = \frac{14.5}{Re^{0.3}}. \quad (3)$$

Отже, отримане узагальненням експериментальних даних рівняння (3) дає змогу теоретично визначити коефіцієнт опору.

Враховуючи узагальнення, рівняння (1) можна подати у вигляді

$$\Delta P = \frac{14.5}{Re^{0.3}} \cdot \frac{H_e}{d_e} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \quad (4)$$

Отримане рівняння (4) дає змогу теоретично розраховувати гідравлічний опір шару сухого гранульованого поліетилену під час профільтовування теплового агента у напрямі «шар матеріалу – перфорована перегородка». Межі застосування рівняння (4): середній розмір частинок – 3 мм, висота шару – 80 – 160 мм, значення числа Рейнольдса 0 – 700.

Для перевірки отриманих результатів на рис. 4 подана кореляційна залежність між теоретично розрахованими за рівнянням (4) значеннями гідравлічного опору поліетилену і отриманими експериментальними значеннями. Як бачимо із графічної залежності, експериментальні і розрахункові значення добре узгоджуються між собою, а максимальна похибка не перевищує $\pm 10\%$.

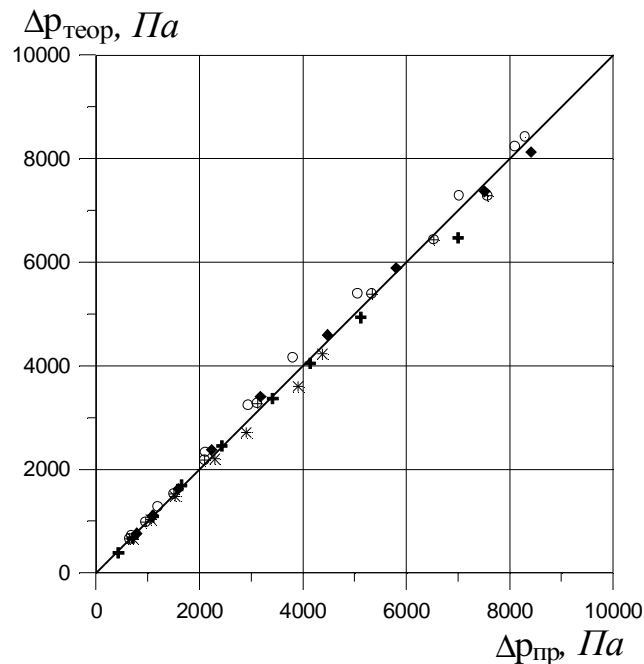


Рис. 4. Кореляційна залежність між розрахованими за рівнянням (4) значеннями гідравлічного опору сухого гранульованого поліетилену і експериментальними значеннями для різних висот шару H , м

Висновки. Виведено залежність, яка дає змогу розрахувати гідравлічний опір гранульованого шару поліетилену. Отримані теоретичні залежності добре узгоджуються з експериментальними даними та мають важливе значення для прогнозування кінетики фільтраційного сушіння з врахуванням енергетичних затрат на процес.

1. Аэров М.Э., Тодес О.М., Наринский Д.А. *Аппараты со стационарным зернистым слоем* // *Химия*. – 1979. – 176 с. 2. Чудновский А.Ф. *Теплообмен в дисперсных средах* – Л.: Химия, 1979. – 436 с. 3. Атаманюк В.М. *Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів: дис. ... д-ра техн. наук.* – Львів, 2007. 4. Гузьова І.О. *Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння матеріалів кристалічної та аморфної структури: дис. ... канд. техн. наук.* – Львів, 2002. 5. Рудобаїта С. *Сушка гранулированных полимеров.* – *Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej*, 2008, 329 с. 6. Протодьяконов И.О., Чесноков Ю.Г. *Гидромеханические основы процессов химической технологии* – Л.: Химия, 1987. – 360 с. 7. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. *Теория тепло- и массопереноса.* – М.: ГЭИ, 1963 – 353 с. 8. Членов В.А. *Виброкопийний слой* / В.А. Членов, Н.В. Михайлов. – М.: Наука, 1972 – 343 с. 9. Рудобаїта С.П. *Массоперенос в системах с твердой фазой.* – М.: Химия, 1980 – 248 с. 10. Дулеба В.П. *Фільтраційне сушіння осажденного полиакриламиду: дис. ... канд. техн. наук.* – Львів, 1997.