

- Canada, 2014. – P. 56-61. <http://dx.doi.org/10.4236/aces.2014.41008>
9. Do A. Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR) for Treatment of Landfill Leachate and Removal of Micropollutants: A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy / Anh T. Do; University of South Florida, USA. - South Florida, 2011. – 195 p.
 10. Jyoti J. Application of Membrane-Bio-Reactor in Waste-Water Treatment: A Review / J. Jyoti, D. Alka, S. J. Kumar // International Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2013. - Vol. 3, no 2. - P. 115-122.
 11. Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology / J. Radjenovic, M. Matosic, I. Mijatovic, M. Petrovic, D. Barcelo // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. - Vol. 5, Part S/2. – P. 37–101.
 12. Peng J. Mathematical Modeling of Hollow-fiber Membrane System in Biological Wastewater Treatment / J. Peng, G. Xue // Systemics, Cybernetics and Informatics, Canada, 2013. – Vol. 4, no. 1. – P. 47-52.
 13. Recalcitrant industrial wastewater treatment by membrane bioreactor (MBR) / F. I. Hai, K. Yamamoto, F. Nakajima, K. Fukushi // Handbook of Membrane research: Properties, Performance and Applications, New York: Nova Science Publishers, 2010. – P. 67-104.
 14. Sayed S. K. I. Treatment of potato processing wastewater using a membrane bioreactor / S. K. I. Sayed, K. H. El-Ezaby, L. Groendijk // Ninth International Water Technology Conference IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egyptc. – Egyptc, 2005. P. 53-68.
 15. Treatment of food industry wastewaters in membrane bioreactor / H. K. Jakopovic, M. Matošic, T. Ecimovic, I. Mijatovic // Zagreb. – 11 p. http://bib.irb.hr/datoteka/414552_Korajlija_Jakopivic_et_al.pdf.

УДК 550.32

Шилін В.В., Кузьменко В.М.,

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРОНИКНОСТІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МОДЕЛІ ІДЕАЛЬНОГО ҐРУНТУ

Модель фільтрації Дарсі передбачає, що фільтраційний потік рухається не тільки крізь пори ґрунту, а також через тверді частини. Ним встановлено, що фільтраційна витрата (дебіт) пропорційна градієнту втрати напору в напрямку фільтрації, а коефіцієнт пропорційності позначають коефіцієнтом фільтрації

$$Q = K_{\phi} \omega \frac{dh_e}{dx}, \quad (1)$$

де Q- витрата фільтраційного потоку, м³/с; K_φ - коефіцієнт фільтрації, м/с; ω - загальна площа (площа пор та твердих часток), м²; dh_e/dx- градієнт втрати напору.

Якщо ліву частину залежності (1) помножити і поділити на питому вагу фільтраційної рідини (флюїду), а також поділити на площу, отримаємо

$$V_{\phi} = \frac{K_{\phi}}{\gamma} \cdot \frac{dP}{dx}, \quad (2)$$

де V_φ - швидкість фільтрації, фіктивна величина м/с; γ - питома вага флюїду, н/м³.

Швидкість руху флюїду в порах з визначення коефіцієнта пористості (m) дорівнює

$$U = \frac{V_{\phi}}{m}, \quad (3)$$

де U - швидкість руху флюїду, м/с.

Для подальшого викладання потрібно пояснити поняття фіктивного і ідеального ґрунту [1]. Фіктивний ґрунт вважають складеним з часток одного розміру. В такому ґрунті, як встановлено Слїхтером (Slicher Ch. S), коефіцієнт пористості не залежить від розміру часток ґрунту, а визначається виключно їх взаємним розташуванням. При цьому кут між центрами трьох суміжних часток змінюється від α=60° (щільна упаковка) до α=90° (повільна упаковка). З геометричних міркувань площа пор дорівнює

$$S_{\text{пор}} = d^2 \left(\sin \alpha - \frac{\pi}{4} \right), \quad (4)$$

де d - розмір частки (рис. 1).

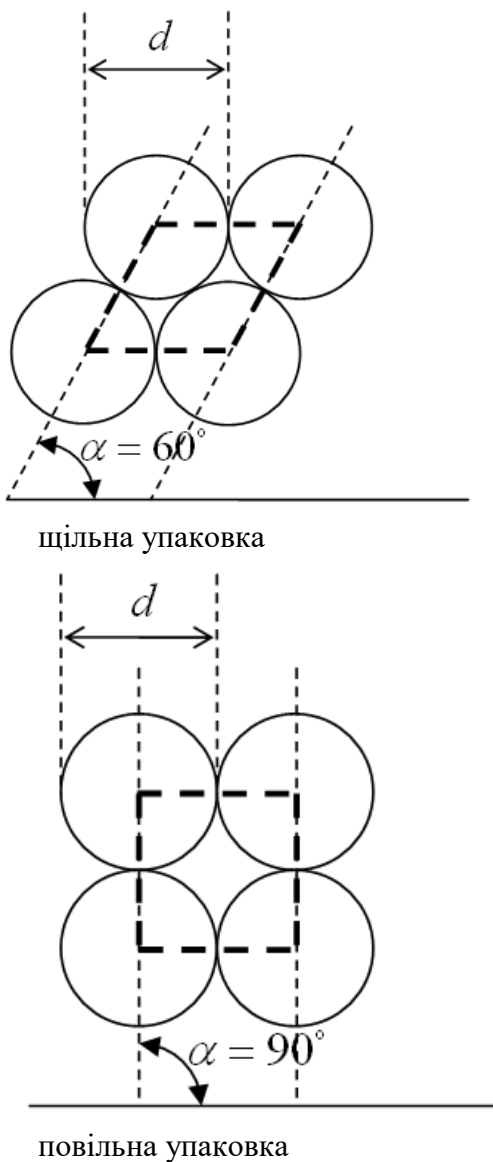


Рис. 1. Схема розташування частинок ґрунту.

Відомо, що фільтраційні властивості фіктивного і реального ґрунту однакові, якщо діаметр частки фіктивного ґрунту дорівнює d_{10} реального ґрунту (d_{10} - частки такого і меншого розміру, яких знаходиться 10% по масі від загальної маси). Таким чином, вважаємо, що площа пор реального ґрунту буде

$$S'_{\text{пор}} = d_{10}^2 \left(\sin \alpha - \frac{\pi}{4} \right) \quad (5)$$

Ідеальний ґрунт складається з прямолінійних циліндричних пор, поперечна площа яких повинна відповідати залежності (4)

$$d_{10}^2 \left(\sin \alpha - \frac{\pi}{4} \right) = \frac{c \cdot \pi \cdot d_p^2}{4}, \quad (6)$$

де $c = 0,43$ для кута $\alpha = 60^\circ$ і $c = 1$ при $\alpha = 90^\circ$; d_p - розрахунковий діаметр m_p циліндричної пори.

Площа ромба (квадрата), яка виділена штриховою лінією, дорівнює $d^2 \cdot \sin \alpha$ (для квадрата $\sin 90^\circ = 1$).

Площа твердих часток - d^2 (рис. 1).

Безумовно, площа пор фіктивного ґрунту змінюється по довжині пори (це можна побачити на діагональному перерізі, у той час як на рис.1 приведений нормальний переріз). Відношення площі пор до загальної перерізу визначають коефіцієнтом просвітності.

Розглянемо циліндричний фрагмент ґрунту, який має довжину l і площу поперечного перерізу ω (це величини сталі).

Тоді осереднена просвітність для цього фрагменту буде [2]

$$\bar{n} = \frac{1}{l} \int_0^l n(l) dl,$$

де $n(l)$ - просвітність у будь-якому перерізі; \bar{n} - осереднена просвітність для всього фрагменту.

Площа пор у будь-якому перерізі буде $S(l) = n(l) \cdot \omega$, а осереднена площа пор

$$\bar{S} = \frac{1}{l} \int_0^l S(l) dl = \frac{1}{l} \int_0^l n(l) \cdot \omega dl = \bar{n} \cdot \omega.$$

При такому визначенні загальний об'єм пор фрагменту буде $W_{\text{пор}} = \bar{n} \omega l$. З іншого боку об'єм пор по визначенню коефіцієнта пористості буде $W_{\text{пор}} = m \omega l$. Порівнюючи останні дві залежності отримаємо $\bar{n} = m$, тобто усереднене значення коефіцієнту просвітності дорівнює коефіцієнту пористості. Визначення останнього технічно значно простіше, тому в залежності (4) використаний коефіцієнт пористості.

Звідси

$$d_p = (0,15 \dots 0,6) \cdot d_{10} \quad (7)$$

Для більшості натурних ґрунтів d_{10} не перевищує 10^{-4} м., а розрахунковий діаметр повинен мати розмір 10^{-5} м. Такий ро-

змір циліндричного каналу дозволяє вважати середню швидкість по перерізу сталою величиною.

Рух флюїду в ідеальному ґрунті відповідає вимогам рівномірного руху. По-перше, розглядається стаціонарний рух (параметри не залежать від часу), по-друге, геометричні розміри і кінематична структура течії не залежать від довжини.

Відомо, що середню швидкість при рівномірному русі визначають залежністю [3]

$$V = \frac{d_p^2}{32\mu} \cdot \frac{dp}{dx} \quad (8)$$

де μ - коефіцієнт динамічної в'язкості.

На підставі викладеного вище залежність (7) розповсюджується також і на швидкість руху флюїду в порах.

Поєднуючи залежності (2), (3), (8) отримуємо

$$\frac{k_\phi}{\gamma m} = \frac{d_p^2}{32\mu}; \quad \frac{k_\phi}{\gamma} = \frac{d_p^2 m}{32\mu};$$

Позначивши

$$\frac{d_p^2 \cdot m}{32} = k_{пр}, \quad (9)$$

де $k_{пр}$ - коефіцієнт проникності, остаточно отримаємо:

$$\frac{k_\phi}{\gamma} = \frac{k_{пр}}{\mu};$$

- співвідношення між коефіцієнтами фільтрації і проникності.

Структура залежності (9) показує, що одиниці виміру коефіцієнта проникності – m^2 , і він залежить виключно від характеристик ґрунту. Крім цього оцінка розрахованого діаметру в залежності від зернового складу натурального ґрунту дозволяє безпосередньо визначати коефіцієнт пористості.

На практиці газу і нафтовидобування коефіцієнт пористості визначають на підставі гідравлічних досліджень покладу, що трудомістко і дорого. На підставі визначеного коефіцієнта пористості будують індикаторну діаграму свердловини.

Залежність (9), яка запропонована і обґрунтована, дозволяє визначати коефіцієнт проникності уникаючи проведення громіздких натурних досліджень. Крім цього, натурні дослідження визначають коефіцієнт проникності усереднений по покладу. За залежністю (9) коефіцієнт проникності можливо визначити для окремих ділянок покладу, що підвищує точність оцінки роботи свердловин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Лейбензон, Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде / Л.С. Лейбензон. – М. ; Л. : ОГИЗ. Гос. изд-во технико-теорет. лит., 1947. – 244 с.
2. Басниев К.С. Кочина И. Н., Максимов В. М. Подземная гидромеханика: Учебник для вузов. - М., Недра, 1993. – 415 с.
3. Левицький Б.Ф., Лещій Н.П. Гідравліка. – Львів, Світ, 1994. – 264 с.
4. Чарный, И.А. Основы подземной гидравлики / И.А. Чарный . – Москва: Гостоптехиздат, 1956 . – 260 с.
5. Щелкачев В.Н., Лапук Б. Б. Подземная гидравлика. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 736 с.
6. Гімер Р.Ф., Гімер П.Р. Основы газовой динамики. Навчальний посібник. - Івано-Франківськ: Факел, 2000. - 228 с.
7. Абасов Б.В. и др. Газогидродинамическая разработка газоконденсатных меторождений . – М. 1970. – 247 с.
8. Євдокимова О.М. Підземна гідравліка. - М.:, 1970. – 231 с.