

Оптимальне визначення коефіцієнта гідравлічного тертя для розрахунку втрат напору по довжині

А.П.Калюжний, канд. техн. наук, М.М.Данів

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
36011 Україна, м. Полтава, проспект Першотравневий, 24

Класична формула втрат напору по довжині для трубопроводів Дарсі–Вейсбаха [1] наочно виражає залежності від основних в ній факторів: довжини трубопроводу $l_{тр.}$, внутрішнього діаметру $d_{вн.}$, швидкісного напору з врахуванням в ньому середньої швидкості в трубопроводі $V_{сер.}$ і коефіцієнта гідравлічного тертя (коефіцієнта Дарсі) λ . Зокрема, коефіцієнт гідравлічного тертя для труб необхідно розраховувати за допомогою різних формул для кожної із зон течії рідини, а це доволі незручно і складно (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні формули для визначення коефіцієнта Дарсі

| <i>Режим руху рідини</i> | | <i>Число Рейнольдса</i> | <i>Визначення λ</i> |
|--------------------------|-------------------------------|--|---|
| Ламінарний | | $Re < 2320$ | $\lambda = \frac{64}{Re}$ формула Стокса або Пуазейля $\lambda = \frac{75}{Re}$ формула Башти |
| Перехідний | | $2320 \leq Re < 4000$ | $\lambda = \frac{2,7}{Re^{0,53}}$ формула Френкеля |
| Турбулентний | зона гідравлічно гладких труб | $4000 \leq Re < 10 \frac{d_{вн.}}{\Delta_{екв.}}$ | $\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ формула Блазиуса $\lambda = \frac{1}{(1,81 \lg Re - 1,5)^2}$ формула Конакова |
| | перехідна зона | $10 \frac{d_{вн.}}{\Delta_{екв.}} \leq Re < 500 \frac{d_{вн.}}{\Delta_{екв.}}$ | $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta_{екв.}}{3,71 d_{вн.}} \right)$ формула Прандля-Кольбрука $\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_{екв.}}{d_{вн.}} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ формула Альтшуля |
| | зона квадратичного опору | $Re \geq 500 \frac{d_{вн.}}{\Delta_{екв.}}$ | $\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_{екв.}}{d_{вн.}} \right)^{0,25}$ формула Шифрінсона $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \frac{\Delta_{екв.}}{3,71 d_{вн.}}$ формула Нікурадзе |

Найбільш обґрунтовані рекомендації по визначенню коефіцієнта гідравлічного тертя були запропоновані І.І. Нікурадзе. Великий внесок в цей напрям також внесли Т.М.Башта, М.В.Лур'є, О.Д.Альтшуль, Б.Л.Шифрінсон, Д.Г.Стокс, Л.Прандль, Кольбрук, Уайт та інші [1-4, 7].

При подачі господарсько-питної води у зовнішніх і внутрішніх трубопроводах, найбільш часто зустрічається не ламінарний, а турбулентний режим руху води. Причому цей рух води залежить від еквівалентної шорсткості труб [1-2, 7], які вироблені із різного матеріалу.

Численні спроби підійти до дослідження турбулентного режиму методами математичного аналізу закінчилися невдачею через неможливість охопити їх за допомогою закінченої теорії спостережень.

Сучасна гідродинаміка при вивченні турбулентного режиму використовує в основному статистичний метод дослідження, в якому найбільш вдалимими вважаються формули, запропоновані Прандлем-Колбруком і О.Д. Альтшулем. Але недоліком формули Прандля-Кольбрука є те, що коефіцієнт гідравлічного опору по довжині трубопроводу знаходиться в ній у неявному вигляді.

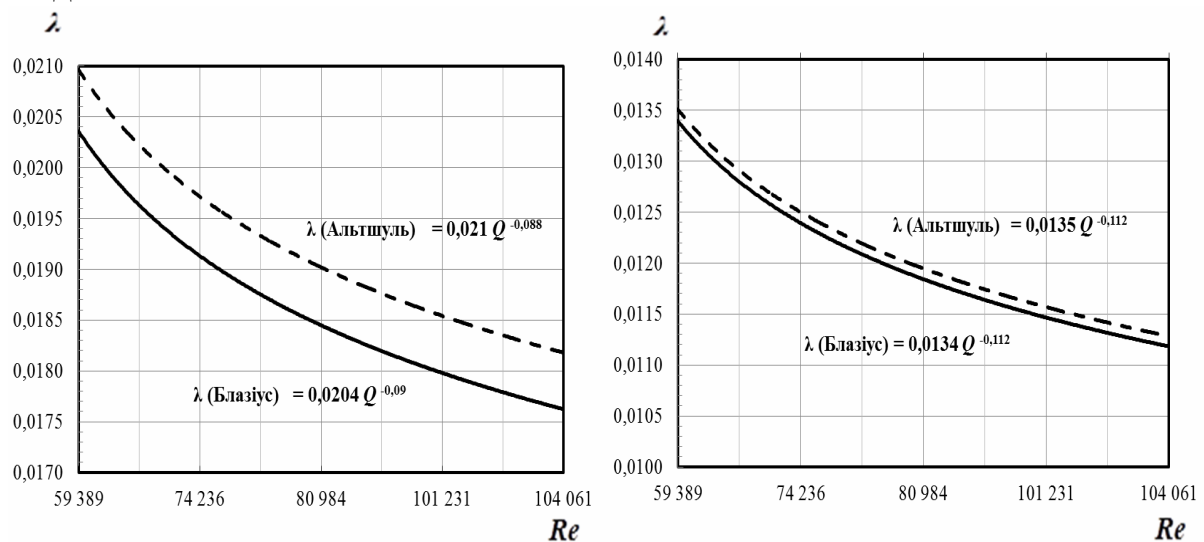


Рис. 1 – Діаграми порівняння коефіцієнта Дарсі по:

- Блазіусу – Альтшулю для нових сталевих труб при $\Delta_{екв.} = 0,03 \text{ мм}$;
- Альтшулю –Шифрінсону для старих сталевих труб при $\Delta_{екв.} = 1,5 \text{ мм}$

Для необхідного порівняння будемо користуватися трьома найбільш простими формулами для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя для турбулентного режиму руху води: Блазіуса, Альтшуля, Шифрінсона [1-3]. Порівняння формул будемо проводити попарно: Блазіус-Альтшуль, Альтшуль-Шифрінсон. У першому порівнянні середня швидкість приймалась $V_{сер.} = 1 \text{ м / с}$. Для вибору внутрішнього діаметра труб було взято сортамент труб по [5-6]. Побудовано діаграми порівнянь коефіцієнта гідравлічного тертя (рис.1-2).

Отже, формулу А.Д. Альтшуля можна використовувати для розрахунку всіх трьох зон турбулентного руху рідини і вважати її універсальною, так як різниця у розрахунках при порівнянні із іншими формулами становить **< 4%**.

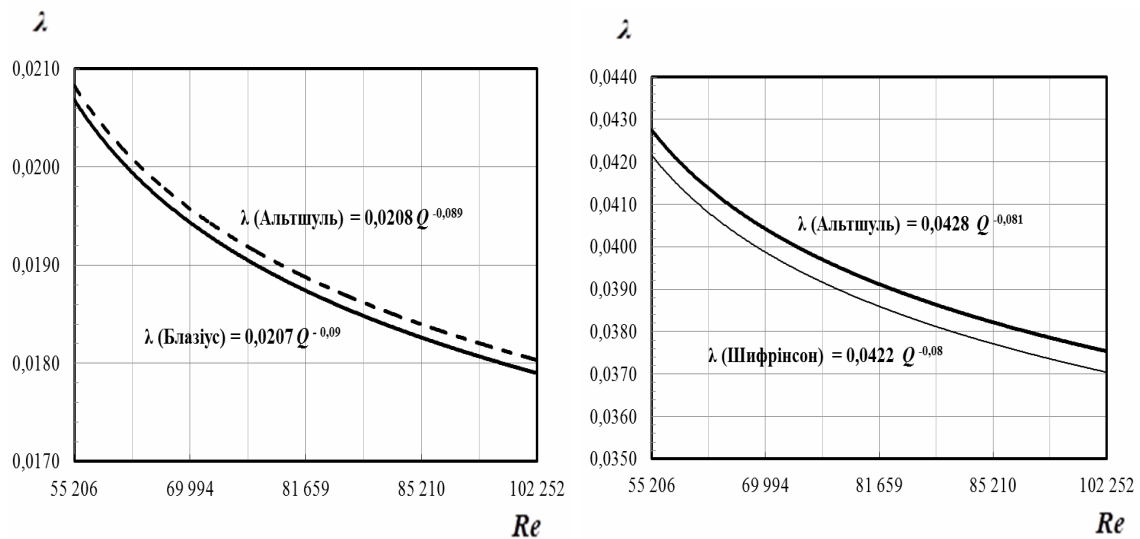


Рис.2 – Діаграма порівняння коефіцієнта Дарсі:
по Блазіусу – Альтшулю для труб із полімерних матеріалів відповідно
при $\Delta_{екв.} = 0,004\text{мм}$ та $\Delta_{екв.} = 0,01\text{мм}$

Список літератури:

1. Константінов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу.– К.: Вища школа, 2002. – 277 с.
2. Калюжний А.П., Гузинін О.О. Визначення втрат напору та еквівалентної шорсткості сталевих труб / Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст», серія «Технічні науки та архітектура», вип. № 99. – Харків, 2011. – с. 320-326.
3. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М.: Недра, 1982. – 224 с.
4. Башта Т.М. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1984. – 424 с.
5. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ. Пособие. – М.: Стройиздат, 1984. – 116 с.
6. ДСТУ Б В.2.7-151:2008. Труби поліетиленові для подачі холодної води. Технічні умови. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 33 с.
7. Добромислов А.Я. Таблицы для гидравлических расчетов напорных и безнапорных трубопроводов из полимерных материалов. — М.: Издательство ВНИИМП, 2002. – 321 с.