

Як бачимо з рисунку потрібна потужність (заштрихована ділянка) у випадку "б" при застосуванні регулюємого електроприводу майже в два рази менше, ніж у випадку "а" (при регулюванні подачі і напорі насоса за допомогою дроселювання напірною засувкою).

Застосування регулюємого електропривода приводить, крім економії електроенергії, до додатково позитивних факторів:

- ◆ зменшення аварійності на водомережі за рахунок виключення поштовхів та гідроударів при регулюванні і плавному пуску чи зупинці агрегатів;
- ◆ збільшення моторесурсу насосних агрегатів і запірної арматури.

Найбільший ефект від застосування регулюємого електроприводу досягається при побудові на його базі систем автоматичного управління (САУ) насосними станціями. При цьому напір може автоматично підтримуватися за заданим значенням напорі в контрольній точці мережі або на виході насосної станції, чи по рівню у приймальному резервуарі каналізаційної насосної станції.

1. Частотно-регулируемый привод [Електронна версія]. – Режим доступу: [http://www.paper.con-sys.ru/projects/articles/adj\\_drives\\_articles](http://www.paper.con-sys.ru/projects/articles/adj_drives_articles).

2. Седлухо Ю.П., Еловик В.Л. Анализ режимов работы однотипных насосов, оборудованных регулируемым приводом // Вода и экология: проблемы и решения. – СПб, 2006. – № 2 (27). – С. 68-75.

3. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 265 с.

4. Березин С.Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчет и конструирование. – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2008. – 160 с.

5. Регулируемые гидромолфы компании Transfluid. Простое и надежное решение по регулированию параметров и оптимизации работы различных технологических систем с центробежными механизмами, работающими в переменных режимах. – [www.i-technolog.ru](http://www.i-technolog.ru).

*Отримано 26.12.2012*

УДК 621.22.225

А.П.КАЛЮЖНИЙ, канд. техн. наук, М.М.ДАНІВ

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

## **ОПТИМАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ТЕРТЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ВТРАТ НАПОРУ ПО ДОВЖИНІ**

Виконано порівняння за відомими формулами коефіцієнта гідравлічного тертя. Знайдено оптимальне визначення коефіцієнта гідравлічного тертя для розрахунку втрат напорі по довжині при турбулентному русі води в трубопроводах круглого перерізу.

Выполнено сравнение по известным формулам коэффициента гидравлического трения. Найдено оптимальное определение коэффициента гидравлического трения для расчета потерь напора по длине при турбулентном движении воды в трубопроводах круглого сечения.

Comparison of the known formulas of the coefficient of hydraulic friction. Found optimal determination of the coefficient of friction to calculate hydraulic head losses along the length of the turbulent motion of water in pipes of circular section.

*Ключові слова:* порівняння, еквівалентна шорсткість, коефіцієнт гідравлічного тертя.

Класична формула втрат напору по довжині для трубопроводів Дарсі-Вейсбаха [1] наочно виражає залежності від основних в ній факторів: довжини трубопроводу  $l_{mp}$ , внутрішнього діаметру  $d_{вн.}$ , швидкісного напору з врахуванням в ньому середньої швидкості в трубопроводі  $V_{сеп.}$  і коефіцієнта гідравлічного тертя (коефіцієнта Дарсі)  $\lambda$ . 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). Виникає питання, які краще використовувати формули із даного переліку?

Таблиця 1 – Основні формули для визначення коефіцієнта Дарсі

Режим руху рідини		Число Рейнольдса	Визначення $\lambda$
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 $\lambda = \frac{1}{(1,81lg Re - 1,5)^2}$ формула Коначова
	перехідна зона	$10 \frac{d_{вн.}}{\Delta_{екв.}} \leq Re < 500 \frac{d_{вн.}}{\Delta_{екв.}}$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2lg \left( \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta_{екв.}}{3,71d_{вн.}} \right)$ формула Прандтля-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 $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2lg \frac{\Delta_{екв.}}{3,71d_{вн.}}$ 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. Шіфрінсон, Д.Г. Стокс, Л. Прандль, Кольбрук, Уайт [3-7] та ін.

Відомо [1], що в загальному випадку гідравлічний коефіцієнт тертя може залежати від двох складових – числа Рейнольдса та безрозмірного геометричного фактора – відносної шорсткості трубопроводу:

$$\lambda = f(Re; \frac{\Delta_{екв.}}{d_{ен.}}).$$

Мета статті – розрахувати і попарно порівняти, як змінюється коефіцієнт гідравлічного тертя для сталевих труб та труб із полімерних матеріалів залежно від формули, яка була запропонована О.Д. Альтшулем для всіх основних трьох зон турбулентного режиму руху води в трубопроводах круглого перерізу. Довести, що ця формула є універсальною при розрахунках коефіцієнта гідравлічного тертя при турбулентному режимі рідини.

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 [1,2,10], які вироблені з різного матеріалу.

Численні спроби підійти до дослідження турбулентного режиму методами математичного аналізу закінчилися невдачею через неможливість охопити їх за допомогою закінченої теорії спостережень. Ці явища є різноманітними і складними. У турбулентному потоці кожна окремо взята частка рідини рухається за своєю складною криволінійною траєкторією. А тому описати цей рух якимсь одним математичним рівнянням доволі складно.

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

Для необхідного порівняння будемо користуватися трьома найбільш простими формулами для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя для турбулентного режиму руху води: Блазіуса, Альтшуля, Шіфрінсона [1-3]. Порівняння формул будемо проводити попарно: Блазіус-Альтшуль, Альтшуль-Шіфрінсон. Алгоритм порівняння показано на рис.1. Причому у першому порівнянні середня швидкість приймалась  $V_{сер.} = 1 \text{ м/с}$ . Для вибору внутрішнього діаметра труб було взято сорта-

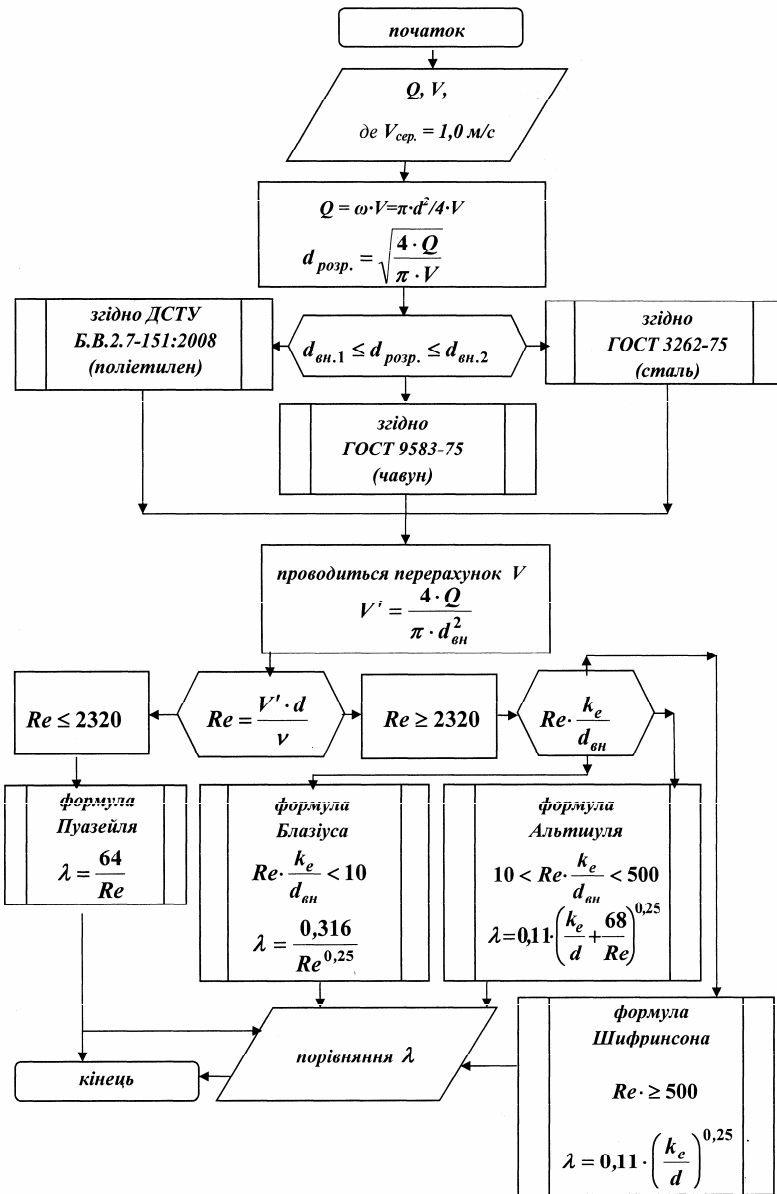


Рис.1 – Алгоритм порівняння коефіцієнта гідравлічного тертя

мент труб по [8,9].

Проводився перерахунок швидкості в трубопроводі з кінематичною в'язкістю води  $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , що відповідає температурі води  $t = 10^0 \text{ С}$ . Побудовано діаграми порівнянь коефіцієнта гідравлічного тертя для сталевих труб і труб із полімерних матеріалів (рис.2,3).

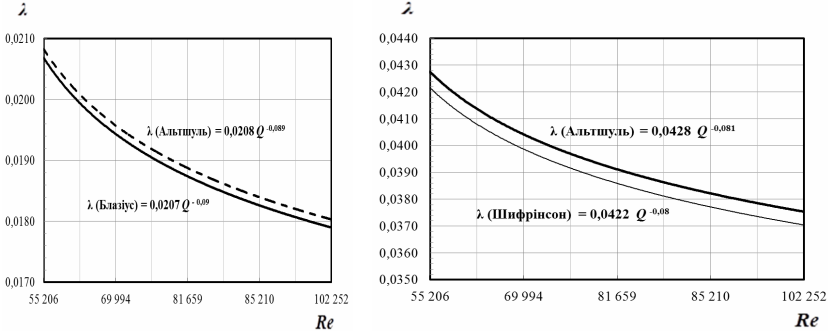


Рис. 2 – Діаграми порівняння коефіцієнта Дарсі по:  
Блазіусу – Альтшулю для нових сталевих труб при  $\Delta_{екв} = 0,03 \text{ мм}$ ;  
Альтшулю – Шифрінсону для старих сталевих труб при  $\Delta_{екв} = 1,5 \text{ мм}$

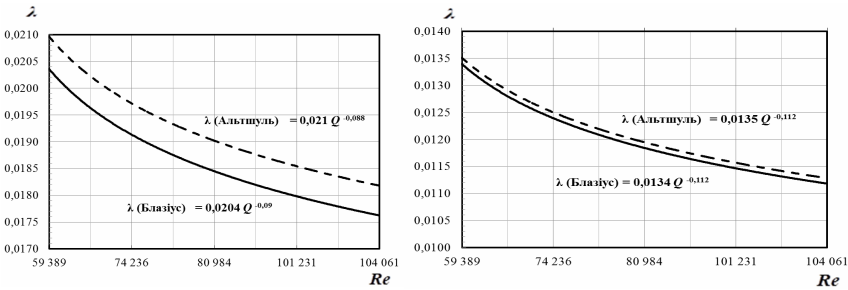


Рис. 3 – Діаграма порівняння коефіцієнта Дарсі по  
Блазіусу – Альтшулю для труб із полімерних матеріалів відповідно  
при  $\Delta_{екв} = 0,004 \text{ мм}$  та  $\Delta_{екв} = 0,01 \text{ мм}$

Таким чином, у сталевих трубах спостерігається як зона гідравлічно гладких труб, так і зона квадратичного опору залежно від еквівалентної шорсткості стінок цих труб. Різниця показників коефіцієнтів гідравлічного тертя в порівнянні з формулою О.Д. Альтшуля становить  $< 2\%$ . Залежність зберігається як при малих, так і при великих діаметрах труб.

У зв'язку з малою шорсткістю стінок трубопроводів із полімерних матеріалів зона квадратичного опору в них не відбувається взагалі.

Формулу О.Д. Альтшуля можна використовувати для розрахунку всіх трьох зон турбулентного руху рідини і вважати її універсальною,

оскільки різниця у розрахунках при порівнянні з іншими формулами становить < 4%.

1.Константинов 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.Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Інженерна гідравліка. – К.: Видавничий дім «Слово», 2006. – 432 с.

6.Прозоров И.В. и др. Гидравлика, водоснабжение и канализация. – М.: Высш. шк., 1990. – 448 с.

7.Черников А.В., Талипов Р.Ф. Об использовании уравнения Кольбука при гидравлическом расчете трубопроводов по обобщенной формуле / Журнал «Трубопроводный транспорт (теория и практика)», вып. № 4. – М., 2010. – С. 14-16.

8.Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ. пособие. – М.: Стройиздат, 1984. – 116 с.

9.ДСТУ Б В.2.7-151:2008. Труби поліетиленові для подачі холодної води. Технічні умови. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 33 с.

10.Добромислов А. Я. Таблицы для гидравлических расчетов напорных и безнапорных трубопроводов из полимерных материалов. – М.: Издательство ВНИИМП, 2002. – 321с.

*Отримано 21.01.2013*

УДК 612.644.01

А.Ф.СТРОЙ, Е.З.ПИОТРОВСКИ, доктора техн. наук,  
М. СТАЖОМСКА

*Технологический университет «Свентокишская политехника, г.Кельце (Польша)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ**

Рассматривается моделирование гидродинамических процессов с помощью потока воздуха. Получен критерий подобия, который должен быть неизменным при моделировании этих процессов. Даны рекомендации применения аэродинамических коэффициентов к задачам анализа и расчёта гидродинамических процессов.

Розглядається моделювання гідродинамічних процесів за допомогою потоку повітря. Визначений критерій подібності, який повинен бути незмінним при моделюванні цих процесів. Розроблені рекомендації використання аеродинамічних коефіцієнтів для аналізу та розрахунків гідродинамічних процесів.

The article considers modeling of hydrodynamic processes with a stream of air. Obtained the similarity criterion, which must be constant in the modeling of these processes. Recommendations were given for the use of aerodynamic coefficients for the structure analysis and calculation of hydrodynamic processes.

*Ключевые слова:* моделирование, критерий подобия, гидродинамические процессы, аэродинамический коэффициент, гидродинамический коэффициент.