

РОЗРАХУНОК ВТРАТ ТИСКУ В ГІДРОЛІНІЯХ ГІДРОПРИВОДУ

Вінницький національний технічний університет¹

Анотація

У роботі розглянуто методику визначення шляхових втрат тиску в гідролініях гідроприводу. Аналізуються режими руху рідини та їх вплив на гідравлічні втрати. Обґрунтовано доцільність використання спрощених методик визначення втрат тиску для інженерних розрахунків.

Ключові слова: гідропривод, втрати тиску, втрати напору, режими руху рідини, ламінарний потік, турбулентний потік, число Рейнольдса, коефіцієнт гідравлічного тертя.

Abstract

The paper examines the methodology for determining pressure losses in hydraulic drive pipelines. The flow regimes and their impact on hydraulic losses are analyzed. The feasibility of using simplified pressure loss calculation methods for engineering applications is substantiated.

Keywords: hydraulic drive, pressure losses, head losses, flow regimes, laminar flow, turbulent flow, Reynolds number, hydraulic friction coefficient.

Вступ

Однією з важливих задач проектування та експлуатації гідроприводів є визначення втрат тиску в гідролініях. Коректний розрахунок втрат тиску дозволяє оптимізувати роботу гідросистем, зменшити енергетичні витрати та підвищити ефективність обладнання. У цій роботі розглядається методика визначення шляхових втрат тиску, спричинених рухом робочої рідини по трубах круглого перерізу та особливості розрахунку під час виконання студентами курсової роботи з дисципліни «Гідравліка, гідро- та пневмоприводи».

Результати дослідження

Втрати тиску в круглій трубі Δp_m через тертя рідини в гідролінії довжиною ℓ_{TP} визначаються за формулою [1–6]:

$$\Delta p_m = \rho g h_m \text{ [Па]}, \quad (1)$$

де ρ – густина рідини, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; h_m – втрати напору на тертя в гідролінії, м.

При русі рідини в круглих трубах постійного перерізу втрати напору на тертя визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h_m = \lambda \cdot \frac{\ell_{TP}}{d_{TP}} \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ [м]}, \quad (2)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині або коефіцієнт Дарсі; d_{TP} – діаметр труби; v – середня швидкість руху рідини, м/с.

Залежно від режиму руху рідини втрати енергії можуть відрізнятися.

Існує два режими руху рідини в гідролінії – ламінарний та турбулентний:

- ламінарний режим, в якому рідина тече окремими нашаруваннями, не перемішуючись;
- турбулентний режим, в якому розподілення швидкостей хаотичне, а рідина перемішується по всьому об'єму потоку.

На основі дослідів встановлено таку структуру турбулентного потоку: тонка ламінарна плівка біля стінок труби; турбулентне ядро, що займає всю центральну частину потоку. Ламінарна плівка повністю або частково вкриває елементи шорсткості на внутрішній поверхні стінок труби, біля яких безперервно зароджуються вихрі збудження, що переходять у ядро потоку.

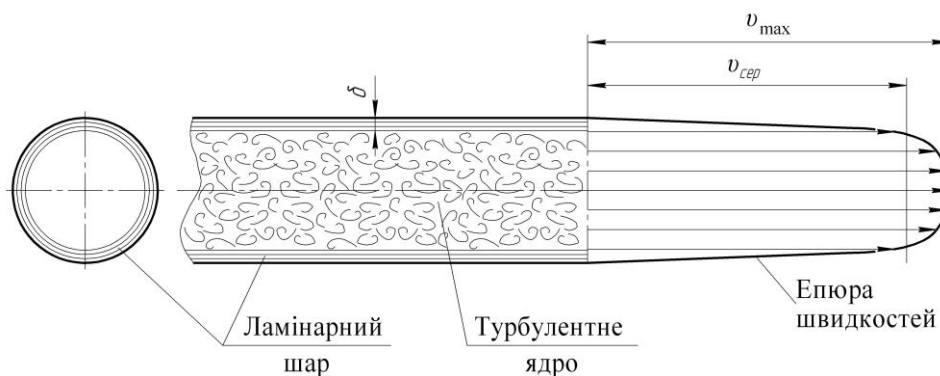


Рис. 1. Модель турбулентного режиму руху рідини

Встановлено, що перехід від ламінарного режиму до турбулентного і навпаки визначається безрозмірним критерієм Re , який називають числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{v \cdot d_{TP}}{\nu}, \quad (3)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості робочої рідини, m^2/s .

Як показують дослідів, для труб круглого перерізу $Re_{кр} \approx 2300$. При $Re < Re_{кр}$ течія ламінарна, а при $Re > Re_{кр}$ – турбулентна. Точніше кажучи, цілком розвинена турбулентна течія у трубах встановлюється лише при $Re \approx 4000$, а при $Re = 2300 \dots 4000$ має місце перехідна, критична область. Існує ряд факторів (шорсткість стінок труби, умови входу потоку в трубу та ін.), які можуть змінювати вказані вище критичні значення.

Знаючи швидкість руху рідини, її в'язкість та діаметр труби, можна розрахунковим шляхом знайти число Re і, порівнявши його з $Re_{кр}$, визначити режим руху рідини.

Режим руху рідини впливає на втрати енергії під час руху рідини.

Для ламінарного режиму руху рідини коефіцієнт гідравлічного тертя λ визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (4)$$

Для турбулентного режиму руху рідини коефіцієнт λ залежить в загальному випадку від числа Рейнольдса Re і відносної шорсткості Δ/d (де Δ – еквівалентна шорсткість) і визначається за емпіричними формулами. При цьому розрізняють три області гідравлічних опорів – гідравлічно гладких труб, перехідну і квадратичну.

1) Область гідравлічно гладких труб має місце, коли ламінарна плівка повністю вкриває виступи шорсткості $\delta \gg \Delta$, де δ – товщина ламінарної плівки ($3000 < Re < 20 d / \Delta$). Для цієї області коефіцієнт гідравлічного тертя λ визначається за формулою Конакова

$$\lambda = \frac{1}{(1,81 g Re - 1,5)^2}, \quad (5)$$

або за формулою Блазіуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (6)$$

2) В перехідній області $\delta \approx \Delta$ ($20 d / \Delta < Re < 500 d / \Delta$) коефіцієнт гідравлічного тертя можна визначити за формулою Кольбрука-Уайта

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta}{3,7 d} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right), \quad (7)$$

або за універсальною (використовується для всіх областей) формулою Альтшуля

$$\lambda = 0,11 (\Delta / d + 68 Re)^{0,25}. \quad (8)$$

3) В квадратичній області опору (області гідравлічно шорстких труб) $\delta \ll \Delta$ ($Re > 500 d / \Delta$) коефіцієнт λ може бути знайдений за формулою Нікурадзе

$$\lambda = \frac{1}{(2 \lg d / \Delta + 1,14)^2}, \quad (9)$$

або за формулою Шіфрінсона

$$\lambda = 0,11 (\Delta / d)^{0,25}. \quad (10)$$

Разом з тим, в гідролініях гідроприводів, зазвичай, швидкості течії такі, що турбулізація потоку незначна. Тоді трубу можна вважати практично гладкою. Отже, виконуючи курсову роботу з дисципліни «Гідравліка, гідро- та пневмоприводи», розрахунок втрат тиску в гідролініях можна виконувати спрощено і коефіцієнт гідравлічного тертя для турбулентного режиму руху визначати згідно формули (6).

Висновки

Під час виконання курсової роботи з дисципліни «Гідравліка, гідро- та пневмоприводи» для спеціальності 131 «Прикладна механіка» студенти можуть застосовувати спрощені методики розрахунку втрат тиску. Використання формули Блазіуса у випадку турбулентної течії дозволяє отримати наближені значення, достатні для інженерних розрахунків. Урахування режиму руху рідини та шорсткості стінок труб дає змогу підвищити точність розрахунків та обґрунтувати вибір діаметрів гідроліній для проєктованих приводів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика : підручник / В. О. Федорець, М. Н. Педченко, В. Б. Струтинський та ін.; за редакцією В. О. Федорця. К. : Вища шк. 1995. 463 с.
2. Буренніков Ю. А., Немировський І. А., Козлов Л. Г. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 273 с.
3. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Курсове проєктування для студентів напрямів підготовки 6.050502 – «Інженерна механіка», 6.050503 – «Машинобудування» : навчальний посібник / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, В. П. Пурдик, С. В. Репінський. Вінниця : ВНТУ, 2014. 238 с.
4. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи, гідропневмоавтоматика : лабораторний практикум / Ю. А. Буренніков, О. В. Дерібо, Л. Г. Козлов, В. П. Пурдик, С. В. Репінський. Вінниця : ВНТУ, 2016. 100 с.
5. Репінський С. В., Подоляк В. А. Комп'ютерна програма «Гідравлічний розрахунок втрат тиску в трубопроводі». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68763. К. : Державна служба інтелектуальної власності України. Зареєстр. 24.11.2016.
6. Репінський С. В., Кобилянська Ю. С., Малюшко А. В. Автоматизація гідравлічного розрахунку сумарних втрат тиску в трубопроводі. Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2022), Вінниця, 30-31 травня 2022 р. Електрон. текст. дані. 2022. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/15673>.

Репінський Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: repinskyisv@gmail.com.

Дерібо Олександр Володимирович – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: deriboov@ukr.net.

Адамлюк Денис Сергійович – студент групи 2ПМ-24м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Repinskyi Serhii V. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: repinskyisv@gmail.com.

Deribo Oleksandr V. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: deriboov@ukr.net.

Adamliuk Denys S. – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.