

# Визначення верхнього критичного числа Рейнольдса

Мар'яна Сковрінок

Кафедра гідравліки та сантехніки, Національний університет "Львівська політехніка",  
Україна, м.Львів, вул.Ст. Бандери, 12, E-mail: marjana1990@mail.ru

*Experimentally the overhead Reynolds' critical number, even 4754, and by extrapolation of dependence Re on a diameter, even 5397, is got.*

Ключові слова: laminar mode of motion of liquid, Reynolds' number.

## Вступ

Під час вирішення внутрішньої задачі гідравліки важливу роль відіграє знання режиму руху рідини, що дає можливість правильно визначити втрати напору. Також у багатьох задачах гідроенергетики необхідно враховувати режим руху рідини. Основні вихідні параметри таких задач визначаються результатами експериментальних і теоретичних досліджень режиму руху рідини в трубах. Цікавим було отримати верхнє критичне число Рейнольдса шляхом власних експериментів.

У комплексній лабораторії кафедри "Гідравліка та сантехніка" НУ "Львівська політехніка" для студентів, котрі вивчають дисципліни гідравлічного циклу, передбачено лабораторну роботу "Дослідження режимів руху рідини" [1]. Лабораторна установка, яку показано на рис.1, дозволяє візуально досліджувати перехід від ламінарного режиму руху рідини до турбулентного. При малих швидкостях руху води в трубі барвник, що подається з ємності, рухається окремою струминкою без змішування з потоком рідини. Це візуально підтверджує наявність ламінарного режиму руху рідини. Потім забарвлена струминка починає

коливатися в поперечному напрямку, утворюючи хвилясту лінію. Крім того, в підтвердження ламінарного режиму можна спостерігати параболічний профіль швидкості з чітко вираженим максимумом на осі труби. Далі при збільшенні витрати рідини відбувається розрив струминки та утворення вирів. Потім забарвлена струминка розмивається, що свідчить про інтенсивне перемішування потоку, характерне для турбулентного режиму руху рідини. Турбулентні потоки виникають при великих швидкостях і малій в'язкості, ламінарні потоки виникають в умовах малої течії та у в'язких рідинах. На практиці в різних газопроводах, трубопроводах частіше спостерігаються турбулентні потоки навіть при швидкостях менше 1м/с. В гідросистемах технологічного обладнання, де використовуються мінеральні масла, турбулентний режим виникає при швидкостях більше 15м/с. Тоді як при проектуванні таких систем частіше передбачають швидкості 4-5м/с. Режим руху в таких трубопроводах, як правило, ламінарний. З фізичної точки зору число Рейнольдса визначається відношенням сил інерції до сил в'язкості в потоці рідини. Якщо частинки рідини в трубі рухаються прямолінійно паралельно до стінок труби і одна до одної. Коли перемішування частинок рідини відсутнє, а рідина в круглій трубі рухається немовби кільцевими шарами, то такий режим руху рідини називається ламінарним (від латинського lamina-шар).

## Лабораторна установка

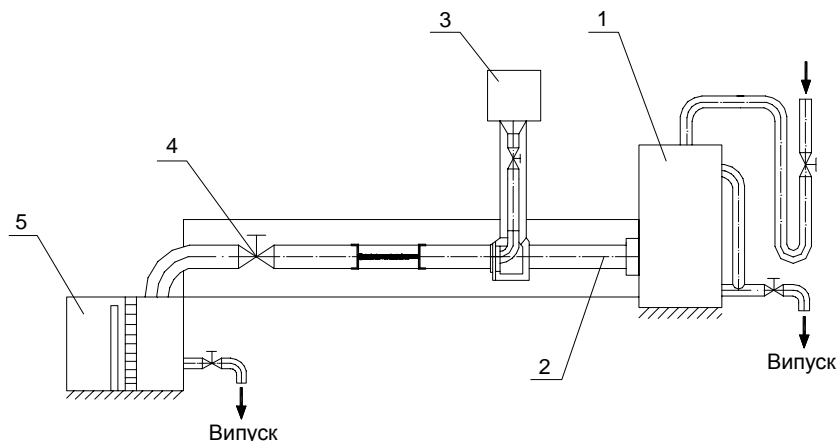


Рис.1. Схема лабораторної установки: 1 – напірний резервуар; 2 – труба; 3 – ємність з розчином барвника; 4 – вентиль; 5 – мірний резервуар [1]

Коли при збільшенні швидкості забарвлена струминка починає викривлятися, починають утворюватися окремі завихрення та розриви. Струминка починає розвиватися по всьому об'єму. Це свідчить про інтенсивне поперечне перемішування рідини. Такий режим руху називається турбулентним (від латинського *turbulentus* - бурхливий, безладний) [1].

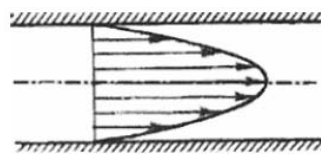


Рис. 2. Профіль швидкості при русі рідини в трубі при ламінарному режимі

### Аналіз останніх досліджень

Відомо, що для напірних труб верхнє критичне число Рейнольдса  $Re_{в.кр}$ , що відповідає переходу від ламінарного режиму руху до турбулентного змінюється від 4000 до 5000 [1]. Проте, це число може залежати від діаметра труб (див. таблицю) [2, с.47].

ЗАЛЕЖНІСТЬ  $Re_{в.кр} = f(d)$

$d, м$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
$Re_{в.кр}$	7000	7333	7667	8000	8333	8667	9000

### Дослідження режимів руху рідини

Ламінарний режим руху води контролювали за наявністю параболічного профілю швидкості з максимумом на осі труби (рис. 2), який спостерігали. При цьому число Рейнольдса становило 4754.

Ламінарний режим руху рідини виникає так. В реальних гідросистемах, навіть при ламінарному режимі руху рідини в круглих трубах, на шляху потоку зустрічаються ділянки з іншою геометрією. Це можуть бути з'єднання труб, вигини, гідроапарати та інше. На таких ділянках характер потоку міняється, режим руху стає турбулентним. Зате після проходження такої ділянки при вході рідини в пряму трубу при відповідній швидкості встановлюється параболічний розподіл швидкостей. Потік знову прагне до ламінарного режиму руху. Відбувається це не раптово, а протягом деякого часу на визначеній довжині труби [3].

Турбулентний режим руху рідини виникає так. Якщо на деякій ділянці трубопроводу існує турбулентний потік, то це не означає, що він збережеться по всій трубі. На різних ділянках трубопроводу і навіть на одних і тих же ділянках в різні періоди часу потік може мати різний характер. Це може визначитися або різними діаметрами трубопроводів, або зміною швидкості руху рідини. У всіх випадках при виникненні умов турбулентного режиму він встановлюється в трубі не раптово. Це відбувається протягом певного часу на ділянці труби з визначеною довжиною. Перехід до турбулентного режиму може відбуватися з ламінарного, наприклад, в результаті плавної чи раптової зміни діаметру труби. Такий же перехід можливий за рахунок зміни швидкості рідини. До утворення турбулентного режиму може приводити також і зміна форми потоку рідини [3].

Дані таблиці описано формулою

$$Re_{в.кр} = 10041 \cdot d^{0,1613}$$

Екстраполюючи цю формулу до діаметра  $d = 0,0213 м$ , було отримано  $Re_{в.кр} = 5397$ . Формула дає завищене значення  $Re_{в.кр}$  тому, що вона описує більші діаметри, ніж у нашій лабораторній установці

### ВИСНОВОК

При дослідженні на лабораторній установці одержано число  $Re_{в.кр} = 4754$ , при якому в трубі діаметром 21,3 мм ще спостерігався ламінарний режим руху води. Верхнє критичне число Рейнольдса, що його отримано експериментально дорівнює 4754, що відповідає рекомендованим у літературі значенням 4000...5000. При екстраполяції залежності  $Re_{в.кр} = f(d)$ , дійсної для труб діаметрами 100...500 мм, розрахункове значення  $Re_{в.кр} = 5397$ , відрізняється від експериментального на 13,6%.

### Література

- [1]. Дослідження режимів руху рідини: Методичні вказівки до лабораторної роботи № 3 з дисциплін "Технічна механіка рідин і газів", "Гідрогазодинаміка", "Гідрравліка, гідро- та пневмоприводи" / Укладачі Б.М. Завойко, О.О. Мацієвська – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 9 с.
- [2]. Цивин М.Н. Конспект лекцій по курсу "Техническая механика жидкости". Курс с применением MathCAD. – К.: НТУ "КПИ", 2008. – 207 с.
- [3]. Сазанов И.И. Гидравлика. Конспект лекций. Учебное пособие. – М.: ИЦ МГТУ Станкин, 2004. – 292 с.
- [4]. Большаков В.А., Попов В.Н. Гидравлика. Общий курс: Учебник для вузов. – К.: Вища школа. Головное из-во, 1989. – С 78-81.
- [5]. Константінов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу: Підручник. – К.: Вища школа, 2002. – С. 93-94.
- [6]. Левицький Б.Ф., Лецій Н.П. Гідрравліка. Загальний курс. – Львів: Світ, 1994. – С. 135-138.
- [7]. Панова М.В. Лабораторний практикум по гідравліке. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1969