

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНЖЕНЕРІЇ

**В. С. БІЛЕЦЬКИЙ, М. І. ФИК**

# **ОСНОВИ ТРАНСПОРТУ ПРИРОДНИХ ВУГЛЕВОДНІВ**

**За загальною редакцією д.т.н., професора І. М. Фика**

Видання друге

**Підручник**

«Новий Світ-2000»

Львів

2020

## УДК 389

Рекомендовано до видання рішенням Вченої Ради навчально-наукового інституту хімічних технологій та інженерії НТУ ХПІ  
Протокол № 1 від 29 вересня 2019 року.

### Рецензенти:

*Капцов І. І.* – д.т.н., проф., Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

*Мірошніченко Д. В.* – д.т.н., ст.н.с., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Б61 Білецький В. С., Фик М. І. Основи транспорту природних вуглеводнів: Підручник / За ред. І. М. Фика. Львів: Видавництво «Новий Світ - 2000», 2020. - 274 с.**

Підручник містить огляд основних видів транспорту вуглеводнів в Україні і світі. Описані технологічні та економічні аспекти трубо-провідного, автомобільного, залізничного, морського та річкового транспорту нафти, газу та конденсату. Подані методологічні основи розрахунку трубопровідного транспорту вуглеводнів, зокрема, розрахунку магістральних та міжпромислових газопроводів. Описано принципи та обладнання *LNG* і *CNG* технологій «віртуального трубопроводу».

Підручник призначений для студентів спеціальності «Нафтогазова інженерія та технології» і рекомендується для використання після освоєння дисципліни "Загальний курс транспорту".

**B61 Biletskyi V., Fyk M. (2019). Fundamental of natural hydrocarbons transport. Study Handbook. Publishing house «New World - 2000», Lviv, Ukraine, 274 P.**

This tutorial provides an overview of the main types of transport of hydrocarbons in Ukraine and in the world. Technological and economic aspects of pipeline, automobile, rail, sea and river transport of oil, natural gas and condensate are described. The methodological bases of calculation of pipeline transport of hydrocarbons, in particular, calculation of trunk and inter-industrial gas pipelines are given. Explains the principles and equipment of LNG and CNG technologies of the "virtual pipeline".

The manual is intended for students of the specialty "Oil and Gas Engineering and Technology" and is recommended for use after pass the discipline "Fundamentals of Transport".

**УДК 389**

ISBN 978-617-7519-40-8

© Білецький В.С., Фик М.І., 2020

© «Новий Світ-2000», ФОП Піча С.В., 2020

# ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДНЄ СЛОВО .....</b>	<b>10</b>
----------------------------	-----------

## **Лекція 1.**

<b>Вступ до курсу «основи теорії транспорту» .....</b>	<b>11</b>
--	-----------

*Мета і завдання курсу. З історії трубопровідного транспорту в світі і в Україні. Місце трубопровідного транспорту вуглеводнів, його розвиток та структура на сучасному етапі.*

*Найбільші магістральні трубопроводи транспортування вуглеводнів.*

*Список країн за довжиною магістральних трубопроводів.*

*Особливості сучасного трубопровідного транспорту нафти, нафтопродуктів і природного газу.*

## **Лекція 2.**

<b>Огляд основних видів транспорту вуглеводнів .....</b>	<b>28</b>
--	-----------

*Транспортування нафти і нафтопродуктів трубопроводами.*

*Транспортування природного газу трубопроводами.*

*Список країн за довжиною магістральних трубопроводів.*

*Підземні сховища природного газу. Залізничне транспортування нафти, нафтопродуктів та скрапленого газу. Водне транспортування нафти, нафтопродуктів і скрапленого газу. Автомобільне транспортування нафти, нафтопродуктів та скрапленого газу.*

*Нафтобазове господарство.*

## **Лекція 3.**

<b>Компаративістська і логістична задачі в теорії транспорту .....</b>	<b>80</b>
--	-----------

*Компаративне порівняння видів транспорту нафти і газу.*

*Економіка різних видів транспорту. Логістична задача транспорту нафти і газу. Використання теорії графів у транспорті вуглеводнів.*

*Приклади розв'язання задач. Графи. Дерева графів.*

*Екстремальні задачі на графах.*

#### **Лекція 4.**

### **Основи розрахунку трубопровідного транспорту рідких вуглеводнів. Фізичні властивості рідин .....109**

*Фізичні властивості рідин: густина, стисливість, теплове розширення, пароутворення, розчинення газів, в'язкість.*

*Поняття про ньютонівські і неньютонівські рідини.*

*Реологічні залежності текучості в'язких рідин, режими течії рідин: ньютонівський, в'язкопластичний (бінгамо-шведівський), псевдопластичний, псевдопластичний з початковим напруженням зсуву, дилатантний, дилатантний з початковим напруженням зсуву.*

#### **Лекція 5.**

### **Основи розрахунку трубопровідного транспорту. Гідростатика.....121**

*Основні визначення. Гідростатичний тиск. Сила гідростатичного тиску на плоскі стінки. Сила тиску рідини на дно посудини.*

*Сила тиску рідини на плоску прямокутну стінку.*

*Сила гідростатичного тиску на криволінійну поверхню.*

#### **Лекція 6.**

### **Основи розрахунку наливного транспорту. Відносний спокій рідини.....129**

*Наливний транспорт. Аналіз випадків: 1. Рідина заповнює посудину, що рухається у горизонтальному напрямку із сталим прискоренням (наприклад, рухома цистерна); 2. Сила тиску рідини, що знаходиться у відносному спокої, на криволінійну поверхню. 3. Рідина, яка заповнює посудину, що обертається навколо своєї вертикальної осі.*

*Параметри параболоїдів обертання.*

## **Лекція 7.**

### **Основи розрахунку трубопровідного транспорту.**

**Гідродинаміка..... 135**

*Основні визначення. Рівняння нерозривності потоку. Ламінарний та турбулентний режим руху рідини. Число Рейнольдса. Рівняння Бернуллі. Вимірювання швидкості і витрати потоку рідини. Трубка Піто. Водомір Вентурі. Втрати напору при ламінарному і турбулентному русі рідини. Графіки Нікурадзе. Формули Пуазейля, Блазіуса, Шифринсона, Нікурадзе, Альтшуля, Шезі, Павловського.*

## **Лекція 8.**

### **Основи розрахунку трубопровідного транспорту.**

**Місцеві опори ..... 143**

*Поняття місцевого опору. Визначення коефіцієнтів місцевих опорів. Зміна перерізу потоку: раптове розширення та звуження трубопроводу, вхід у трубу з резервуара, поступове розширення трубопроводу (дифузор), поступове звуження трубопроводу (конфузор). Зварні стики трубопроводу. Зміна напрямку потоку: різкий поворот (коліно), плавний поворот трубопроводу. Втрати напору, пов'язані зі зміною перерізу та напрямку потоку: засувки, вентилі, клапани та ін. Розділення і поєднання потоків.*

## **Лекція 9.**

### **Основи розрахунку морського та річкового транспорту.**

**Закон Архімеда..... 155**

*Плавання тіл. Закон Архімеда. Умови стійкості суден. Стійка, нестійка та індиферентна (байдужа) рівновага судна. Вісь плавання судна. Центр водотоннажності судна. Метацентр судна. Метацентрична висота. Метацентричний радіус. Ексцентриситет судна. Остійність судна.*

## **Лекція 10.**

### **Основи розрахунку трубопровідного транспорту.**

#### **Витікання рідини з отворів та насадок .....160**

*Витікання рідини з малих отворів у тонкій стінці.  
Витікання рідини через великі отвори. Витікання рідини з отвору при змінному напорі. Тривалість часткового випорожнення круглої цистерни. Тривалість витікання при змінному напорі з одної посудини до іншої під мінливий рівень.  
Тривалість часткового випорожнення круглої цистерни.  
Витікання рідини через насадки. Приклади розрахунків.*

## **Лекція 11.**

### **Основи розрахунку трубопровідного транспорту.**

#### **Гідравлічний удар .....169**

*Визначення гідравлічного удару. Прямий та непрямий гідравлічний удар. Основні розрахункові рівняння гідравлічного удару: підвищення тиску в трубопроводі, швидкість поширення ударної хвилі. Підвищення тиску при повільному закритті засувки. Вплив матеріалу труб на параметри гідравлічного удару. Приклади гідравлічних ударів. Методи боротьби з гідроударом. Розрахунок гідроудару.*

## **Лекція 12.**

### **Основи розрахунку трубопровідного транспорту.**

#### **Сифон .....174**

*Сифон (1) як гідравлічний пристрій у вигляді зігнутої трубки з колінами різної довжини, якою переливають рідину з однієї посудини в іншу. Розрахунок максимальної висоти всмоктування.  
Сифон (2) як пристрій, призначений для одностороннього відсікання газів від резервуара або трубопроводу.  
Визначення. Принцип дії.*

### **Лекція 13.**

#### **Основи розрахунку трубопровідного транспорту.**

**Гідравлічний розрахунок трубопроводів ..... 179**

*Гідравлічний розрахунок трубопроводу. Особливості довгих і коротких трубопроводів. Визначення сумарних втрат напору. Визначення витрат рідини. Визначення діаметра трубопроводу.*

### **Лекція 14.**

#### **Транспорт газу і теоретичні основи**

**міжпромислового транспорту газу..... 183**

*Основні складові газотранспортної системи.  
Основні формули для розрахунку параметрів квазістаціонарних режимів роботи промислових газопроводів. Швидкісний режим роботи газопроводу. Визначення продуктивності газопроводу. Визначення гідравлічних опорів. Визначення перепаду тиску в промисловому газопроводі. Температурний режим роботи газопроводу.*

### **Лекція 15.**

**Трубопровідний транспорт нафт..... 196**

*Склад системи магістрального нафтопроводу. Головний термінал. Проміжні нафтоперекачувальні станції. Кінцевий термінал. Лінійні споруди. Способи транспортування звичайних і високов'язких та високо застигаючих нафт: 1) гідротранспорт нафт; 2) перекачування з розчинниками; 3) перекачування термооброблених нафт; 4) перекачування нафт з присадками; 5) перекачування попередньо підігрітих нафт; 6) Інші способи.*

### **Лекція 16.**

**Спільний транспорт рідких і газоподібних вуглеводнів ..... 206**

*Актуальність проблеми двофазного транспорту рідини і газу. Структурні форми газорідного потоку. Карта структурних форм газорідного потоку. Характеристика промислового флюїдопроводу при різному газовмісті  $\beta$  флюїду. Визначення оптимального режиму перекачування газорідної суміші. Принципова технологічна схема перекачування газонасичених нафт.*

**Лекція 17.**  
**Особливості технологій транспортування зрідженого та стисненого природного газу (технології LNG та CNG).....215**

*Зріджений (скраплений) природний газ: основна характеристика. сучасний стан LNG-технології в світі. Скраплений газ в Україні. Перспективи зрідження газів. Особливості і область використання технологій LNG та CNG.*

**Лекція 18.**  
**Особливості розрахунків магістральних та міжпромислових газопроводів.**  
**Методика розрахунків .....229**

*Технологічний розрахунок газопроводу. Визначення оптимальних параметрів магістрального газопроводу. Вибір типу газоперекачувальних агрегатів, визначення числа компресорних станцій і відстані між ними. Визначення відстані між компресорними станціями. Уточнений тепловий і гідравлічний розрахунок ділянки газопроводу між двома компресорними станціями. Розрахунок режиму роботи компресорної станції.*

**ДОДАТОК 1.....259**

**ДОДАТОК 2.....263**

**РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....270**



## ПЕРЕДНЄ СЛОВО

У посібнику «Основи теорії транспорту вуглеводнів», призначеному для студентів спеціальності «Нафтогазова інженерія та технології», подано огляд основних видів транспорту вуглеводнів, викладена компаративістська, логістична і техніко-технологічна задачі в теорії транспорту, дано основи розрахунку трубопровідного транспорту. Зокрема, описані фізичні властивості рідин, питання гідростатики та гідродинаміки, розрахунки втрат напору на місцевих опорах, витікання рідин з насадок, гідравлічний удар, протікання рідин у сифонах. Подано основи розрахунку морського та річкового транспорту, гідравлічний розрахунок трубопроводів.

Особлива увага зосереджена на питаннях транспорту газу і теоретичних основах міжпромислового транспорту газу, трубопровідного транспорту нафти, спільного транспорту рідких і газоподібних вуглеводнів. Описані область, особливості і перспективи використання сучасних технологій CNG та LNG.

Посібник містить ряд прикладів розрахунків окремих задач транспорту рідин, нафти і газу, розрахунків магістральних та міжпромислових газопроводів. Викладена методика розрахунків, зокрема, із застосуванням теорії графів.

При створенні посібника автори-укладачі використовували як вітчизняний, так і закордонний досвід, віддзеркалений, зокрема, списком рекомендованої літератури по курсу. Зокрема, залучено унікальні теоретичні та емпіричні напрацьовки вітчизняної наукової школи трубопровідного транспорту, представленої, головним чином, Київською, Донецькою та Харківською групами. Зокрема, це праці Інституту гідромеханіки НАН України (М.О. Сілін, Ю.К. Вітошкін, В.М. Карасик, С.І. Криль), експериментальної станції гідротранспорту при Донецькому науково-дослідному вугільному інституті (Н.Ю. Офенгенден, Ю.Ф. Власов, В.І. Гоштовт, Ю.Г. Світлий, В.І. Нікітін, Н.Б. Трейнер, А.А. Цай), Донецького політехнічного інституту (В.Г. Гейер, В.І. Груба, Г.М. Тимошенко, В.В. Пак, В.С. Білецький), НВО „Гідротрубопровід” та його відділення в Україні (Ю.Ф. Власов, Ю.Г. Світлий), Інституту транспорту газу ДК «Укртрансгаз» (м. Харків, І.М. Фик).

Автори висловлюють подяку представникам цих наукових шкіл за їх цінні рекомендації та науковий доробок, що використані при підготовці посібника.

*В. С. Білецький, М. І. Фик*