

622.6
Б 90

МЕХАНІКА ДВОФАЗНИХ ПОТОКІВ
У ЧОТИРЬОХ ТОМАХ

ТОМ
3

А.Ф. Булат, О.І. Волошин

**МЕТОДИ
РОЗРАХУНКІВ
ДВОФАЗНИХ ПОТОКІВ
У ТРУБОПРОВІДНИХ
СИСТЕМАХ**

МЕХАНІКА ДВОФАЗНИХ ПОТОКІВ

У ЧОТИРЬОХ ТОМАХ

За редакцією
члена-кореспондента НАН України
О. І. ВОЛОШИНА

КИЇВ 2019

ТОМ 3

А. Ф. БУЛАТ, О. І. ВОЛОШИН

**МЕТОДИ
РОЗРАХУНКІВ
ДВОФАЗНИХ
ПОТОКІВ
У ТРУБОПРОВІДНИХ
СИСТЕМАХ**

НАУКОВА ДУМКА

УДК 622.643:533.6

Механіка двофазних потоків: У чотирьох томах / За ред. О. І. Волошина. – Т. 3. А. Ф. Булат, О. І. Волошин. Методи розрахунків двофазних потоків у трубопровідних системах. – Київ: Наукова думка, 2019. – 184 с.

ISBN 978-966-00-1712-2

У третьому томі наведено методи розрахунків параметрів руху двофазних потоків «газ–тверді частинки» у трубопровідних системах. Описано математичні моделі процесів, які відбуваються під час пневмотранспортування сипких матеріалів. Наведено розрахункові схеми та алгоритми реалізації методів розрахунків параметрів пневмотранспортування. Розроблені методи та алгоритми розрахунків дають змогу виконати розрахунки повного технологічного циклу транспортування сипких матеріалів: «компресор–пневмотранспортна система–транспортний трубопровід–зона вивантаження». Наведені програми обчислень призначені для прикладних інженерних розрахунків з урахуванням можливостей застосовуваної обчислювальної техніки.

Для інженерів і конструкторів, які займаються проектуванням і розробкою трубопровідних пневматичних систем широкого профілю, що транспортують сипкий матеріал, а також для студентів вишів за спеціальностями «Промисловий транспорт», «Гірничі машини і комплекси», «Підземна розробка корисних копалин».

In the third volume presents calculation methods parameters of motion of two-phase flows «gas–solid particles» in pipeline systems. Is a brief presentation of the mathematical models of the processes taking place during pneumatic transport of bulk materials. Show the calculated schemes and algorithms implementation methods for calculating of the parameters pneumatic transport. The presented methods and algorithms for calculation allow the perform the calculation a the complete process cycle transport of bulk materials: «compressor–pneumatic transport system–pipeline of transport–unloading zone». Computing programs are designed for of application engineering calculations based on an opportunity to apply computer technology.

For engineers and constructor the design and development of pneumatic the pipeline systems a wide profile for transport bulk material engaged as well as for students in the field of «Industrial Transport», «Mining machines and systems», «Underground mining of minerals».

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор Є. О. Кириченко,
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України,
доктор технічних наук, професор Б. О. Блюсс,
Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України

*Затверджено до друку вченою радою
Інституту геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України
(протокол № 12 від 13.08.2018 р.)*

**Видання здійснено за кошти Цільової комплексної програми
«Створення та розвиток науково-видавничого комплексу НАН України»**

Науково-видавничий відділ фізико-математичної
та технічної літератури

Редактор *В. В. Вероцька*

ISBN 978-966-00-1673-6 (т. 1-4)
ISBN 978-966-00-1712-2 (т. 3)

© А. Ф. Булат, О. І. Волошин, 2019
© НВП «Видавництво “Наукова думка”
НАН України», дизайн, 2019

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА ДО ТРЕТЬОГО ТОМУ	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ СПІВІДНОШЕННЯ МЕХАНІКИ ДВОФАЗНИХ ПОТОКІВ «ГАЗ—ТВЕРДІ ЧАСТИНКИ» ДЛЯ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ	13
1.1. Визначення динамічних параметрів руху аеросуміші по горизонтальному трубопроводу.....	13
1.2. Опис механіки руху сипкого матеріалу в потоці стисненого повітря.....	19
1.2.1. Режими руху частинок аеросуміші по горизонтальному трубопроводу.....	19
1.2.2. Визначення сил опору за періодичних ударних режимів руху частинок.....	30
РОЗДІЛ 2. ТОЧНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКІВ ПНЕВОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ДВОФАЗНОГО ПОТОКУ «ГАЗ—ТВЕРДІ ЧАСТИНКИ»	34
2.1. Математична модель двофазного потоку «газ—тверді частинки» у ПТС.....	34
2.2. Якісні методи визначення основних параметрів газової та твердої фаз.....	39
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВОТРАНСПОРТУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ТРУБОПРОВІДНИМИ СИСТЕМАМИ	44
3.1. Вибір раціональних змінних процесу пневмотранспортування та виведення диференціальних рівнянь.....	44
3.2. Розгалуження розв'язків для швидкостей фаз і визначення ділянки втримання тиску.....	51
3.3. Формула дальності транспортування.....	57
3.4. Визначення раціональної витрати повітря.....	65
3.5. Визначення максимальної дальності транспортування.....	71
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ ПНЕВОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ УМОВ ЗАВИСАННЯ ЧАСТИНОК	74
4.1. Зависання частинок дисперсного матеріалу та умова незакупорки трубопроводу.....	74
4.2. Гіпотези зависання і розрахункові формули для швидкостей зависання.....	77
4.3. Основні розрахункові формули та числові методи їх реалізації.....	87
РОЗДІЛ 5. МЕТОДИ РОЗРАХУНКІВ СИСТЕМИ «КОМПРЕСОР-ПОВІТРОПРОВІД-ПНЕВОТРАНСПОРТНИЙ ТРУБОПРОВІД»	95
5.1. Характеристика системи «компресор—повітропровід—пневмотранспортний трубопровід»	95
5.2. Характеристика пневмотранспортного трубопроводу.....	102
5.3. Розрахунки роботи пневмотранспортної системи з компресором.....	107

5.4. Розрахунки пневмотранспортної системи з похилим трубопроводом.....	121
5.5. Визначення параметрів ПТС числовим інтегруванням основних диференціальних рівнянь двофазного потоку «газ–тверді частинки»	129
Р О З Д І Л 6. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІЛЬОТУ ЧАСТИНОК СИПКОВОГО МАТЕРІАЛУ З ТРАНСПОРТНОГО ТРУБОПРОВОДУ ПТС	137
6.1. Розрахунки вильоту частинок сипкого матеріалу в простір, який не стискує струмінь.....	137
6.2. Математична модель процесу вильоту частинок сипкого матеріалу в замкнений простір.....	147
6.3. Ідентифікація параметрів вильоту полідисперсних частинок гірської пороли з транспортного трубопроводу ПТС.....	160
ВИСНОВКИ	170
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	174
СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	178