

ЗМІСТ

Частина 1. Ньютонівські рідини

Передмова	11
Вступ	13
Густина рідини	14
В'язкість рідини	18
Поверхневий натяг	27
Стисливість	32
Температурні зміни об'єму	35
Тиск насиченої пари рідини, або пружність пари	38
Розчинність газів	39
Релаксація в рідинах	40
1. Основи статички рідин	41
1.1. Сили, що діють в рідині в стані спокою. Класифікація діючих сил. Тиск в рідинах	41
1.2. Диференційні рівняння рівноваги рідин	43
1.3. Основне диференційне рівняння рівноваги рідин та часткові випадки його інтегрування	45
1.3.1. Випадок абсолютного спокою рідини. Тиск у точці однорідної нестисливої рідини	47
1.3.2. Випадки відносної рівноваги рідини	51
1.3.2.1. Лінійний рух залізничної цистерни з рідиною	52
1.3.2.2. Обертання циліндра з однорідною рідиною зі сталою кутовою швидкістю навколо вертикальної осі	54
1.3.2.3. Вертикальне нерівномірне переміщення труб із рідиною	56
1.4. Положення вільної поверхні рідини при абсолютному та відносному спокої. Поверхні рівного тиску – часткові випадки	58
1.5. Основні властивості тиску	65
1.5.1. Епюри гідростатичного тиску. Часткові випадки	66
1.6. Умова рівноваги рідин різної густини у сполучених посудинах	69
1.7. Прилади для вимірювання тиску і напору	70
1.7.1. П'єзометр (напоромір)	74
1.7.2. Двотрубний (U-подібний) прилад	75
1.7.3. Дифманометри	76
1.7.4. Мікроманометр	77
1.7.5. Батарейні рідинні манометри	78
1.7.6. Механічні прилади	80
1.8. Сила статичного тиску	86
1.8.1. Сила статичного тиску на рівні (плоскі) поверхні	87

1.8.2. Центр статичного тиску на рівну (плоску) поверхню.....	89
1.8.3. Графоаналітичний метод знаходження сили тиску та точки її прикладання	93
1.8.4. Сили тиску на криволінійні поверхні	96
1.8.5. Об'єм тіла тиску. Приклади побудови тіл тиску	98
1.8.6. Центр статичного тиску на криволінійну поверхню.....	105
1.8.7. Основи плавання і остійності плаваючих тіл.....	108
2. Основи кінематики рідин.....	112
2.1. Основні припущення та характеристики течії	112
2.2. Рівняння неперервності.....	122
3. Основи динаміки рідини	125
3.1. Диференційні рівняння течії ідеальної рідини.....	126
3.2. Основне рівняння динаміки рідини (рівняння Д.Бернуллі).....	129
3.2.1. Графічне тлумачення рівняння Д. Бернуллі для струмини ідеальної рідини	133
3.2.2. Фізичне тлумачення рівняння Д. Бернуллі для елементарної струмини ідеальної рідини.....	136
3.2.3. Тлумачення механічної суті рівняння Д. Бернуллі для струмини ідеальної рідини	137
3.2.4. Практичне використання рівняння Д. Бернуллі для струмини ідеальної рідини.....	138
3.2.4.1. Випадок перший. Водомір Д. Вентурі.....	138
3.2.4.2. Випадок другий. Вимірювання величини вакууму в ежекторі (висоти підняття рідини в ежекторі)	141
3.2.4.3. Випадок третій. Витратомірна діафрагма.....	144
3.2.4.4. Випадок четвертий	145
3.3. Рівняння Д. Бернуллі для потоку в'язкої рідини.....	147
3.3.1. Графічне тлумачення рівняння Д. Бернуллі для потоку в'язкої рідини.....	153
3.3.2. Гідравлічний та п'єзометричний нахили	154
3.3.3. Загальні відомості про втрати енергії при течії рідини	156
3.4. Режим течії рідини. Критерій та число Рейнольдса.....	158
3.5. Динаміка ламінарної течії рідин	162
3.5.1. Диференційне рівняння ламінарної течії у руслах круглого перерізу.....	164
3.5.2. Розподіл місцевих швидкостей у круглій циліндричній трубі	167
3.5.3. Розподіл дотичних напруг у потоці	168
3.5.4. Визначення витрати рідини	169
3.5.5. Підрахунок втрат енергії(напору).....	170
3.6. Ламінарна течія рідини в кільцевому перерізі	171
3.6.1. Величина та характер розподілу місцевих швидкостей.....	172
3.6.2. Величина та характер розподілу дотичних напруг	176
3.6.3. Визначення витрати рідини при заданому перепадові тиску.....	179
3.6.4. Визначення втрат тиску.....	183

3.7. Випадок неізотермічної ламінарної течії в'язкої рідини	186
3.8. Динаміка турбулентної течії рідини	188
3.8.1. Розподіл швидкостей у турбулентному потоці	189
3.8.2. Структура потоку та розподіл дотичних напруг	190
3.8.3. Розрахунок втрат енергії при турбулентній течії рідини. Гідравлічно гладкі та шорсткі труби	191
3.8.3.1. Досліди І. Нікурадзе на трубах із штучною шорсткістю	193
3.8.3.2. Початкова ділянка при турбулентній течії	196
3.8.3.3. Деякі шляхи зменшення втрат енергії при турбулентній течії рідини	196
3.8.3.4. Турбулентна течія рідин у руслах некруглої форми	198
3.9. Втрати енергії при течії рідини крізь місцеві опори	199
3.9.1. Класифікація місцевих опорів	200
3.9.2. Природа втрат енергії при течії рідин крізь місцеві опори	200
3.9.3. Розрахунок втрат напору в простих місцевих опорах	202
3.9.3.1. Раптове розширення русла	202
3.9.3.2. Поступове розширення русла (дифузор)	206
3.9.3.3. Раптове звуження русла	210
3.9.3.4. Поступове звуження русла (конфузор)	212
3.9.3.5. Поворот русла	212
3.9.3.6. Діафрагма	214
3.9.3.7. Зворотний клапан з сіткою	214
3.9.3.8. Еквівалентна довжина місцевого опору	215
3.9.3.9. Адитивний закон втрат у місцевих опорах	215
3.9.3.10. Коефіцієнти місцевих опорів при ламінарній течії	217
3.10. Течія рідини крізь отвори і насадки	218
3.10.1. Загальні зауваження	218
3.10.2. Визначення параметрів витікання при течії рідини крізь малий отвір у тонкій стінці при довершеному стисненні і сталому напорі в атмосфері	220
3.10.3. Дослідне визначення коефіцієнтів витрати (μ), швидкості (ϕ) та стиснення (ε)	224
3.10.4. Течія рідини крізь насадки. Класифікація насадок	227
3.10.4.1. Течія рідини крізь зовнішню циліндричну насадку	229
3.10.4.2. Течія рідини крізь внутрішню циліндричну насадку	233
3.10.4.3. Течія рідини крізь конічно збіжну насадку	233
3.10.4.4. Течія рідини крізь конічно розбіжну насадку	234
3.10.4.5. Течія рідин крізь коноїдальні насадки	235
3.10.4.6. Порівняння параметрів течії крізь отвори і насадки	236
3.10.4.7. Течія рідини крізь короткі трубопроводи	237
3.11. Течія рідин у напірних трубопроводах	239
3.11.1. Загальні зауваження	239
3.11.2. Типові задачі при течії рідини в напірних трубопроводах	240
3.11.3. Розрахунок простих трубопроводів	242

3.11.3.1. Визначення потрібного напору. Побудова характеристики трубопроводу.....	242
3.11.3.2. Визначення перепускної здатності трубопроводу.....	245
3.11.3.3. Визначення діаметра трубопроводу	248
3.11.3.4. Визначення допустимої глибини буріння при усталеній гідравлічній потужності бурових pomp.....	251
3.11.3.5. Визначення мінімально допустимої гідравлічної потужності рідини при течії її в трубопроводі заданої довжини	255
3.11.4. Розрахунок складних трубопроводів.....	257
3.11.4.1. Послідовне з'єднання простих трубопроводів	257
3.11.4.2. Паралельне з'єднання простих трубопроводів	259
3.11.5. Розрахунок трубопроводу з подачею рідини помпою	260
3.11.5.1. Розрахунок всмоктувального трубопроводу	261
3.11.5.2. Визначення висоти всмоктування	264
3.11.5.3. Розрахунок нагнітального трубопроводу	272
3.11.6. Розрахунок трубопроводів із відгалуженнями	276
3.12. Неусталена течія рідини.....	280
3.12.1. Рівняння Д. Бернуллі для неусталеної течії	280
3.12.2. Гідравлічний удар в трубах	283
3.12.2.1. Загальні зауваження	283
3.12.2.2. Величина зростання тиску при гідравлічному ударі. Швидкість ударної хвилі.....	284
3.12.2.3. Захисні заходи та пристрої від зростання тиску при гідравлічному ударі	289
3.12.3. Витікання рідини при змінному напорі	290
3.12.3.1. Загальні зауваження	290
3.12.3.2. Визначення часу витікання рідини крізь донний отвір із резервуара при $S(z) = idem$	291
3.12.3.3. Визначення часу випорожнення резервуара змінного перерізу, $S(z) = var$	294
4. Динаміка рідинних струмин	296
4.1. Загальні зауваження	296
4.2. Сила взаємодії незатопленої струмини з поверхнею тіл різних форм	296
4.3. Взаємодія струмини з поверхнею тіла, що рухається поступально, рівномірно і в одному напрямі	300
5. Взаємодія потоку рідини з твердими тілами.....	302
5.1. Загальні зауваження	302
5.2. Осідання твердих тіл у нерухомій рідині.....	305
5.3. Швидкість винесення частинок породи із свердловини	309

Частина 2. Неньютонівські рідини

Вступ	313
1. Рідини та їх реологічні моделі	315
1.1. Ньютонівська рідина.....	315
1.2. Тиксотропні системи.....	319
1.3. Псевдопластичні системи.....	324
1.4. Дилатантні рідини.....	327
1.5. В'язко-пластичні системи.....	329
1.6. Реальні бурові розчини. Узагальнений степеневий закон.....	338
2. Експериментальна реометрія бурових розчинів	341
2.1. Ротаційні візкозиметри.....	341
2.2. Капілярні візкозиметри.....	344
3. Динаміка ламінарної течії в трубах в'язко-пластичної рідини (рідини Бінгхема (Bingham))	346
3.1. Розподіл місцевих швидкостей у потоці в'язко-пластичної рідини.....	346
3.2. Розподіл дотичних напруг у потоці в'язко-пластичної рідини.....	351
3.3. Витрата в'язко-пластичної рідини при ламінарній течії.....	352
3.4. Визначення втрат тиску у круглих циліндричних трубах.....	355
4. Ламінарна течія рідини Оствальда де Ваале в трубах	358
4.1. Визначення місцевих швидкостей та характеру їх розподілу.....	359
4.2. Визначення витрати рідини.....	361
4.3. Визначення втрат тиску.....	363
4.4. Визначення величини дотичних напруг та характеру їх розподілу.....	366
5. Ламінарна течія ньютонівської рідини в ексцентричному кільцевому просторі свердловини	368
6. Течія в'язко-пластичної рідини у кільцевому просторі свердловин	372
6.1. Загальні зауваження.....	372
6.2. Величина і розподіл місцевих швидкостей у потоці ВПР.....	374
6.3. Витрата рідини при течії ВПР у кільцевому перерізі.....	379
6.4. Визначення втрат тиску в кільцевому просторі.....	386
6.5. Особливості ламінарної течії в'язко-пластичної рідини в ексцентричному кільцевому просторі.....	391
7. Течія рідини Оствальда де Ваале в кільцевому просторі свердловини	394
7.1. Загальні зауваження.....	394
7.2. Величина та характер розподілу місцевих швидкостей при течії рідин Оствальда де Ваале у вузькій щілині.....	396
7.3. Визначення витрати рідини.....	397
7.4. Визначення втрат тиску.....	399

8. Графоаналітичний метод знаходження втрат тиску при течії ньютонівських рідин в трубах	402
8.1. Графіки І. Нікурадзе	402
8.2. Графіки Колбрука і Муді	405
9. Графоаналітичний метод знаходження втрат тиску при течії неньютонівських рідин	411
9.1. Течія в'язко-пластичної рідини в трубах	411
9.2. Течія в'язко-пластичної рідини в кільцевому просторі свердловини	414
9.3. Ламінарна течія в'язко-пластичної рідини в кільцевому просторі свердловин	416
9.3.1. Алгоритм розрахунків втрат тиску в кільцевому просторі при течії рідини Бінгхема за методом Фредриксоні і Бірда	417
9.4. Течія пружно-пластичної рідини в трубах (рідини Оствальда де Ваале)	419
9.5. Течія пружно-пластичної рідини в кільцевому просторі свердловини (рідини Оствальда де Ваале)	421
10. Інженерні дослідження та розрахунки циркуляційної системи	423
10.1. Встановлення реологічних параметрів та їх графічна інтерпретація за результатами ротаційної візкозиметрії	423
10.2. Розрахунок втрат тиску в бурильних трубах	426
10.3. Розрахунок втрати тиску в кільцевому просторі свердловини	428
11. Капілярна візкозиметрія неньютонівських рідин та її практичне використання	430
11.1. Загальні зауваження	430
11.2. Ідентифікація досліджуваної рідини. Узагальнення Метцнера–Ріда	431
11.3. Визначення реологічних параметрів за результатами досліджень при дійсних градієнтах зсуву	435
11.4. Визначення режиму течії досліджуваної рідини у капілярному візкозиметрі та в трубах. Оцінювання відхилення у підрахунках втрат тиску	439
11.5. Розрахунок втрат тиску в кільцевому просторі свердловини	445
11.6. Розрахунок втрат тиску за методикою фірми "Halliburton" при течії тампонувальних розчинів	452
Список літератури	458
Додатки	459
Додаток А	459
Додаток Б	463
Додаток В	467
Додаток Г	469