Міністерство освіти і науки України
Дніпродзержинський державний технічний університет

Волошин М.Д., Шестозуб А.Б., Гуляєв В.М.

Устаткування галузі і основи проектування

Затверджено
Міністерством освіти і науки України

Підручник для студентів
хіміко-технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів

Дніпродзержинськ
2004

УДК 66.01 : 546 (07)

Устаткування галузі та основи проектування: Підручник для студентів хіміко-технологічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Волошин М.Д., Шестозуб А.Б., Гуляєв В.М. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2004, – 371 с.

Затверджено Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів 27.07.2004 року (лист №14/18.2−1803)

У підручнику наведені характеристики найпоширеніших конструкційних матеріалів, викладені основи міцністних розрахунків хімічної апаратури. Наведено приклади розрахунків. Дано опис обладнання, яке призначене для проведення фільтрування, відстоювання, центрифугування, транспортування, складування та деяких інших процесів неорганічного синтезу. Розглянуто основи монтажу та ремонту устаткування, а також оцінки його надійності. В додатках наведено загальні положення з проектування промислових об'єктів.

Підручник призначений для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 7.091602 "Хімічна технологія неорганічних речовин". Він буде корисним і для інших хіміко-технологічних спеціальностей.

Рецензенти: Столяренко Г.С., д-р техн. наук, проф., Черкаський державний технологічний університет
Лобойко О.Я., д-р техн. наук, проф., НТУ „Харківський політехнічний інститут"
Мельников Б.І., канд. техн. наук, проф., Український державний хіміко-технологічний університет

Друкується за рішенням Вченої ради ДДТУ № 10 від 25.05.2004 р.

ISBN 966-8551-06-0

© Волошин М.Д.,
Шестозуб А.Б.,
Гуляєв В.М
© ДДТУ, 2004

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ 7

ВСТУП..... 9

Розділ 1. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ У ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ..... 11

Розділ 2. РОЗРАХУНОК ХІМІЧНОЇ АПАРАТУРИ НА МЕХАНІЧНУ МІЦНІСТЬ……..... 23

2.1. Вибір розрахункових значень температури і тиску... 23

2.2. Вибір допустимої напруженості..... 25

2.3. Основи конструювання хімічних апаратів..... 29

2.4. Розрахунок хімічних апаратів на міцність..... 30

2.4.1. Розрахунок товщини стінок апаратів..... 30

2.4.2. Розрахунок випуклих днищ..... 36

2.4.3. Розрахунок сферичних кришок і днищ..... 37

2.5. Розрахунок товщини трубних дощок (решіток)..... 40

2.6. Розрахунок компенсаторів..... 43

2.7. Розрахунок барабанних апаратів..... 45

2.8. Розрахунок валів мішалок..... 51

2.9. Розрахунок колонних апаратів на вітрове навантаження..... 57

2.10. Розрахунок апаратів на сейсмічну стійкість..... 75

Розділ 3. АПАРАТИ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СУСПЕНЗІЙ..... 81

3.1. Відстійники..... 81

3.2. Фільтри..... 89

3.2.1. Фільтрувальні перегородки..... 89

3.2.2. Конструкції фільтрів..... 90

3.3. Центрифуги..... 100

3.3.1. Класифікація і позначення центрифуг…..... 100
3.3.2. Конструкції центрифуг ……..... 103
3.3.3. Розрахунок ротора центрифуги ……..... 116
3.4. Апарати для промивання осадів..... 122
3.5. Вибір апаратів для поділу суспензій..... 130

Розділ 4. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗДРІБНЮВАННЯ, ПОМЕЛУ, КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ГРАНУЛЮВАННЯ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ..... 134
4.1. Теоретичні основи здрібнювання ……..... 134
4.2. Устаткування для здрібнювання ……..... 138
4.3. Устаткування для фракційного поділу сипучих матеріалів..... 151
4.3.1. Грохоти……..... 151
4.4. Поділ сипких матеріалів під дією гравітаційно-інерційних сил..... 154
4.4.1. Теоретичні основи поділу……..... 154
4.4.2. Багатосекційні класифікатори……..... 162
4.4.3. Конусні класифікатори……..... 164
4.4.4. Рейкові класифікатори ……..... 166
4.5. Устаткування для гранулювання хімічних продуктів..... 169
4.5.1. Гранулювання порошкоподібних матеріалів.... 169
4.5.2. Гранулювання паст і розплавів …….... 174
4.5.3. Вибір грануляторів ……..... 179

Розділ 5. ПЕЧІ ТА ПІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ 181
5.1. Печі..... 181
5.2. Форсунки та пальники..... 195
5.3. Трубопроводи печей..... 202
5.4. Димарі……. 210
5.5. Апарати для відділення пилу й крапель від газів..... 216
5.5.1. Апарати сухого очищення..... 217
5.5.2. Апарати мокрого очищення..... 221

Розділ 6. ТРАНСПОРТНЕ УСТАТКУВАННЯ ЗАВОДІВ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН..... 224
6.1. Зовнішньозаводський транспорт..... 224
6.2. Транспорт для переміщення твердих матеріалів..... 231
6.3. Транспорт для переміщення рідин..... 234
6.4. Транспорт для переміщення і стиснення газів..... 253
6.4.1. Вентилятори..... 253
6.4.2. Компресори 256
6.4.3. Вакуум-насоси..... 260
6.5. Трубопроводи й арматура 263
6.5.1. Трубопроводи..... 263
6.5.2. Запірна і регулююча арматура..... 266

Розділ 7. УСТАТКУВАННЯ СКЛАДІВ..... 271
7.1. Склади для збереження твердих матеріалів..... 271
7.1.1. Організація складів..... 271
7.1.2. Устаткування складів..... 276
7.2. Склади для збереження рідких продуктів..... 278
7.2.1. Організація складів..... 278
7.2.2. Резервуарний парк складів..... 286
7.3. Устаткування для збереження газів..... 294

Розділ 8. МОНТАЖ І РЕМОНТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВОК..... 297
8.1. Організація монтажних робіт..... 297
8.2. Надійність обладнання та технологічних ліній..... 302
8.3. Система технічного обслуговування та ремонту..... 320

ДОДАТОК..... 328
ПРОЕКТНА ДОКУМЕНТАЦІЯ..... 328
1. Загальні положення..... 328
2. Порядок розробки проектної документації..... 329
3. Ескізний проект..... 333
4. ТЕО інвестицій..... 333

5. Проект..... 334
6. Робочий проект..... 336
7. Робоча документація..... 337
8. Порядок визначення вартості проектування та будівництва..... 340
9. Погодження, експертиза та затвердження проектної документації..... 340
10. Вказівки щодо вибору майданчика (траси) для будівництва..... 344
11. Перелік вихідних даних, які надаються замовником..... 347
12. Склад завдання на проектування..... 349
13. Склад ТЕО інвестицій..... 350
14. Склад та зміст проекту на будівництво об'єктів цивільного призначення..... 351
15. Склад та зміст проекту на будівництво об'єктів промислового призначення..... 354
16. Оцінка впливів на навколишнє середовище (ОВНС)..... 358
17. Склад основних даних і техніко-економічних показників, що включаються у розпорядчий документ про затвердження проекту на будівництво житлових будинків..... 362
18. Склад основних даних і техніко-економічних показників, що включаються у розпорядчий документ про затвердження проекту на будівництво громадських будинків..... 362
19. Склад основних даних і техніко-економічних показників, що включаються у розпорядчий документ про затвердження проекту на будівництво об'єктів промислового призначення 363

ЛІТЕРАТУРА……..... 365

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК……..... 367

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Діаметр D, d;		Напруженість:	
умовний	$D_у$	розтягу	σ
внутрішній	$D_в$, $d_в$	стиску	$\sigma_с$
зовнішній	$D_з$, $d_з$	вигину	$\sigma_и$
отворів, болта	d, $d_б$	крутіння	τ
різьби	$d_о$	допустима	$[\sigma]$, $[\tau]$
болтового кола	$D_б$	Межа міцності:	
Довжина	L, l	при розтягу	$\sigma_в$
Ширина	B, b	при вигині	$\sigma_{ив}$
Висота	H, h	при крутінні	$\tau_в$
Товщина	c	Межа текучості	$\sigma_Т$
Радіус	R, r	Коефіцієнт запасу міцності	$n_В$, $n_Т$, n_D
Прибавка до розрахункової товщини	C	Подовження відносне при розтягуванні	δ
Площа перетину	F	Температура	t
Момент опору	W	Потужність	N
Момент інерції	J	Частота обертання	n
Кут плоский	α		
Маса	M, m	Швидкість кутова	ω

Сила ваги	G	Прискорення сили тяжіння	g
Навантаження	P	Густина	ρ
Вигинаючий момент	$M_и$	В'язкість середовища	$?_o$
Крутний момент	$M_к$	Теплопровідність	λ
		Коефіцієнт міцності зварного шва	φ
Тиск:			
умовний	P_y	Модуль пружності	E
допустимий	[P]		

ВСТУП

У хімічній технології важливе значення має постійне вдосконалювання машин і апаратів, що забезпечують оптимальні умови протікання реакційних, тепло- і масообмінних процесів і досягнення мінімальних витрат праці, енергії та матеріалів на вироблену продукцію. Машини й апарати повинні мати високу механічну стійкість, надійність в роботі, екологічну та експлуатаційну безпечність за оптимальної вартості.

Є багато технічної літератури з розрахунків механічної стійкості машин і апаратів, проте частина цієї літератури застаріла, інша — малодоступна, третя — потребує (при роботі з нею) занадто багато часу і зусиль з боку студентів, що навчаються без відриву від виробництва.

У даному підручнику зроблений огляд літератури з конструкційних матеріалів, що застосовуються в хімічній промисловості, розглянуті найбільш характерні методи міцнісних розрахунків хімічних апаратів та наведені конкретні приклади розрахунків стінок циліндричних обичайок, кришок, днищ та інших елементів апаратів.

Варто мати на увазі, що при конструюванні хімічної апаратури широко використовуються стандартні й уніфіковані деталі, конструктивні елементи й вузли, їхні розміри вибирають за стандартами на умовний тиск при робочій температурі без розрахунків на механічну міцність. Уніфікація припускає використання в нових конструкціях раніше випробуваних на практиці деталей і вузлів, не обов'язково стандартизованих.

У підручнику наводиться перелік літератури з конструкційних матеріалів і основ розрахунків механічної міцності апаратів. Даний підручник допоможе студентам опанувати глибокими знаннями основ розрахунків апаратів на механічну міцність, принципів вибору й заміни машин, апаратів, трубопроводів.

Студент повинен навчитися виконувати не тільки міцнісні розрахунки, але і мати уявлення про основи ремонту та монтажу устаткування. При розрахунках обичайок, фланців, кришок,

днищ, опорних решіток, люків рекомендується застосовувати стандартні методики, якщо такі є.

При розрахунку корпусу апарата визначають товщину його стінки, виходячи з умови забезпечення механічної міцності при заданих значеннях тиску й температури, а також з урахуванням прибавок на корозію, ерозію і точність виготовлення. Варто старанно вибирати конструкційні матеріали й у необхідних випадках передбачати їхній захист антикорозійними покриттями, тепловою ізоляцією, призначати термообробку апарата. Розрахунок апаратів на дію вітрових навантажень і сейсмічних сил зводиться до визначення товщини й опорної площі фундаментного кільця, міц-ності зварних швів, вибору розмірів і кількості фундаментних болтів та перевірки апаратів у цілому на стійкість. Значна увага приділена описанню основного обладнання хімічних виробництв, яке базується переважно на навчальному посібнику „Оборудование производств неорганических веществ", виданому колективом авторів в складі В.А.Хуснутдінова, Р.С. Сайфулліна і І.Г. Хабі-булліна в 1987 році російською мовою.

В додатках студент знайде основні положення про сучасну організацію проектування промислових і цивільних об'єктів в Україні.

Розділ 1. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ В ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Для хімічної апаратури існує дуже широкий набір конструкційних матеріалів, серед яких найбільше значення мають сталі, чавуни, кольорові метали і сплави, кераміка і пластмаси, композиційні матеріали на основі алюмінію, титану, заліза та ін.

Основні апарати хімічної технології виготовляють із сталей. Маркірують сталі за літерно-цифровою системою. Наприк-лад, Ст0, Ст1, Ст2, СтЗ та ін.

Літерами позначають метод виробництва сталі, наприклад: М — мартенівська, К — конверторна, Б — бесемерівська (МСтЗ, КСтЗ, БСтЗ).

Для позначення ступеня розкислення сталі додають індекси: кп — кипляча, пс — напівспокійна, сп — спокійна (МСтЗпс).

Сталі звичайної якості мають тимчасовий опір на розривання, МПа; Ст0 — 32; Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп — 32...40; СтЗкп, СтЗпс, СтЗсп - 38...47; Ст7пс — 70 і більше.

Вуглецева конструкційна сталь маркірується числами: 10, 15, 30, 35, 40, 45, 50 і т. ін., що означають вміст вуглецю в сотих частках відсотків.

За хімічним складом сталі розділяються на вуглецеві (нелеговані), низьколеговані, леговані, високолеговані й сплави на основі заліза.

За призначенням сталі розділяються на конструкційні, інструментальні й сталі з особливими фізичними властивостями.

За якістю сталі діляться на сталі звичайної якості, якісні, високоякісні й особливо високоякісні.

Властивості сталі залежать від її структури й вмісту вуглецю, домішок та легуючих елементів.

З ростом вмісту вуглецю в сталі зменшується її густина, електропровідність, відносне подовження, теплопровідність.

Вміст домішок в вуглецевій сталі, %

Технологічних: кремнію — 0,1... 0,35, марганцю — 0,35...0,70, сірки — 0,03...0,05, фосфору — 0,03...0,05;

прихованих: водню — 0,001, азоту — 0,01, кисню — 0,01;
випадкових: (хром, нікель, мідь) — 0,1..0,3.

Сталь містить не більш 2 % вуглецю. Якщо вона містить вуглецю менше 0,25 %, то її називають низьковуглецевою, при вмісті вуглецю 0,25...0,60 % — середньовуглецевою і при 0,6...2,0 % — високовуглецевою.

Опосередковані дані з міцнісних характеристик сталей наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. **Міцнісні характеристики сталей після термообробки**

Сталі	Межа міцності, МПа	Межа текучості, МПа	Межа витривало-сті, МПа	Ударна в'язкість, МДж/м^2
Низьковуглецеві	350…500	250	150	0,3…0,6
Середньовуглецеві	600…800	400…500	250…300	0,4…0,8
Леговані	1000…1800	1000…1500	600…1000	0,6…1,0

Для зміцнення сталі зі зміною внутрішньої структури застосовують гарячу обробку тиском, легування; термічну обробку загартуванням з індукційним нагрівом. Для надання особливих поверхневих властивостей використовують термодифузійне поверхневе насичення хромом, алюмінієм, сіркою, вуглецем, бором, азотом, марганцем, кремнієм, селеном. Високотемпературна термомеханічна обробка дозволяє підвищити міцність сталей у 1,5...2 рази.

Вуглецеві сталі звичайної якості широко застосовуються для виготовлення апаратів і їхніх деталей (люки, фланці, днища, патрубки), які експлуатуються при температурі від –20 до 425 °С й тиску не більше 5 МПа. При цьому враховується агресивність середовища.

Вуглецеві сталі якісні конструкційні застосовуються для виготовлення апаратів і їхніх деталей, що працюють при температурі від –20 до 475 °С і тиску до 10 МПа. Для підвищення корозійної стійкості таких сталей вони можуть бути покриті емаллю.

Легуючі елементи (Cr, Ni, Mo, V, W, A1, Si, Mn) утворюють у сталі тверді розчини, карбіди, оксиди і інтерметалічні сполуки з залізом. Легуючі елементи підвищують твердість і міцність сталі на розрив, змінюють в'язкість, електропровідність, теплопровідність та інші властивості. Особливо важливим є та обставина, що сталі з великим вмістом легуючих елементів відрізняються високими антикорозійними властивостями, великою пластичністю, теплостійкостю й жаротривкістю, зносостійкістю.

Для підвищення жаротривкості й твердості в сталь добавляють хром. Марганець надає сталі зносостійкість, твердість і міцність. Нікель сприяє збільшенню в'язкості сталі, підвищенню пластичності й міцності.

Високу корозійну стійкість надають сталям молібден, кремній, нікель та хром.

Добавка молібдену викликає підвищення прожаруємості й оброблюваності сталі. Молібден дозволяє збільшити верхню температурну межу застосування сталей. Ванадій підвищує пластичність, прожаруємість, оброблюваність сталі й стійкість проти водневої корозії.

Титан і вольфрам покращують багато механічних властивостей сталей.

Для маркірування легованих сталей застосовують літерні позначення компонентів; С — кремній; Г — марганець; Х — хром; Н — нікель; Т — титан; В — вольфрам; М — молібден; Ю — алюміній; Р — бор; Ц — цирконій; К — кобальт; Д — мідь; Б — ніобій; Ф — ванадій. Числа перед літерними позначеннями відповідають вмісту легуючих елементів у відсотках. Якщо вміст легуючого елемента не перевищує 1,5 %, то числа не вказуються. Літера А, розташована наприкінці маркірування легованої сталі, вказує на поліпшену якість такої марки сталі.

Низьколеговані сталі містять до 2,5 % легуючих добавок і застосовуються для виготовлення обичайок і деталей апаратів, що працюють при тиску до 10 МПа в інтервалі температур від –70 до 475 °С у неагресивних середовищах.

Леговані сталі містять від 2,5 до 10 % легуючих добавок і служать для виготовлення хімічної апаратури, яка працює при тиску до 10 МПа в інтервалі температур від –40 до 560 °С, та важко навантажених деталей машин (роторів центрифуг, валів, шестерень).

Високолеговані сталі розділяються на корозійностійкі, жаростійкі та жаротривкі. Вони застосовуються в апаратах, що працюють в інтервалі температур від –253 до 800 °С в умовах підвищеного тиску й за наявності агресивності середовищ.

Алюмінієві сплави мають низьку (до 3 кг/дм^3) густину, високу теплопровідність (12...18 Вт/(м·°С)). Їх можна зварювати. Вони не піддаються корозії в сухій атмосфері, стійкі в лугах і слабких розчинах кислот, але легко руйнуються в міцних кислотах. (В концентрованій азотній кислоті стійкий чистий алюміній). Коефіцієнт лінійного розширення в них складає (20... 60)·10^{-6} 1/°С в інтервалі 0... 100 °С. Модуль пружності (7…5)·10^4 МПа. Межа міцності 1,5...3,4 МПа.

Силуміни (сплави алюмінію та кремнію) застосовують для виливки тонкостінних деталей складної форми (голівок циліндрів і поршнів двигунів із повітряним охолодженням та компресорів).

Для захисту сплавів від корозії застосовують анодування, пасивацію.

Магнієві сплави містять до 90 % магнію з добавками алюмінію, марганцю, цинку, цирконію й ін. Їхня густина біля 1,8 кг/дм^3; модуль пружності (4,2...4,5)·I0^4 МПа; коефіцієнт лінійного розширення (27...30)·10^{-6} 1/°С в інтервалі 0...100 ^{o}С; тепло-провідність 0,07...0,08 Вт/(м·°С); σ_y= 4,0...6,0 МПа.

Титанові сплави мають густину 4,5 кг/дм^3; Е=(11,5...12,0)·10^4 МПа; коефіцієнт лінійного розширення (8... 10)· 10^{-6} 1/°С в інтервалі 0... 100 °С; σ_y = 1500 МПа.

До титану додають хром, кобальт, марганець, ванадій, мідь, молібден, залізо до 10...12 %.

Титанові сплави легко піддаються термообробці. Вони не магнітні, вразливі до концентрації напруг, зберігають міцність і корозійну стійкість при температурах від –250 до 500 ^{o}С. При більш високих температурах спостерігається газова корозія. Для

зниження корозії в особливих випадках добавляють паладій (0,2 %).

Масова частка домішок заліза (0,2...0,3 %), кремнію (0,08...0,12 %) і вуглецю (0,05...0,08 %) в технічних марках титану ВТ1, підвищує його міцність і знижує пластичність. Титан менше теплопровідний, чим сталь і алюміній.

Фізико-механічні властивості найважливіших конструкційних матеріалів наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. **Фізико-механічні властивості деяких конструкційних матеріалів**

Показник	Титан	Мідь	Алюмі-ній	Магній	Вугле-цева сталь	Нержа-віюча сталь
Густина, г/см^3	4,51	8,94	2,7	1,74	7,86	7,90
Модуль Юнга, Е 10^{-4} МПа	11,00	12,00	6,85	4,50	20,00	20,00
Міцність, МПа						
$\sigma_у$	390...540	195.390	88...147	175.215	294.. 324	490
$\sigma_т$	294...362	78.. 340	78... 98	88...137	175.. 196	196
Відносне подовження, %	25...30	30... 50	25...30	3...8	33...35	40
Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6 К^{-1}$	8,9	16,4	24,0	25,7	11,9	16,6
Коефіцієнт теплопро-відності при 20 °С, Вт/(м·К)	19,2	386,0	239,0	147,0	71,3	15,9
Температура плавлення, °С	1665	1083	660	650	1535	1500
Питомий електричний опір при 20 °С, Ом·м	0,554	0,017	0,027	0,044	0,100	0,730
Питома теплоємність при 50 °С, кДж/(кг·К)	0,500	0,390	0,882	1,020	0,458	0,502

При виборі конструкційних матеріалів для хімічної апаратури керуються їхньою вартістю і доступністю, умовами

протікання хімічного процесу (температурою, тиском, агресивністю середовища). Враховують термін доцільності служби апаратури.

Кожному виду конструкційних матеріалів притаманні різноманітні властивості, переваги й недоліки. Так звичайні і якісні вуглецеві сталі дешеві, мають досить високі міцнісні властивості, але не витримують високої температури й агресивного середовища. Леговані й високолеговані сталі, що містять нікель, хром, молібден, ванадій, титан, марганець та інші добавки, можуть використовуватися при високих температурах і підвищеному тиску, а також в агресивних середовищах. Сталь 12Х18Н10Т витримує луги, нітрати, азотну кислоту, високу температуру (до 800 °С), газове середовище (H_2, CO, CH_4). Сталь ЭИ-943, яка містить молібден і мідь, застосовується в розчинах фосфорної кислоти. Хромиста сталь 15Х28Т витримує відкрите полум'я при температурі до 1100 °С. Сталь 10Х17Н13М2Т призначена для застосування в агресивних середовищах у широкому температурному інтервалі (від –196 до 700 °С) при тиску до 100 МПа. З кольорових металів Al, Cu, Pb, Ті і ін. та їхніх сплавів можна вибрати матеріали, стійкі до дії концентрованих кислот, лугів, негативних температур. Наприклад, із титану виготовляють випарні апарати, застосовувані у виробництві хлориду кальцію і хлористого амонію. Корозійна стійкість деяких матеріалів, оцінювана за швидкістю корозії, наведена в табл. 1.3—1.6.

При підвищенні температури з 90 до 100 °С швидкість корозії зазначених матеріалів зростає в 2...4 рази. Виняток складають свинець і мідь, у яких швидкість корозії зменшується.

Таблиця 1.3. **Корозійна стійкість різноманітних марок сталей у реакторах полімеризації вінілхлориду**

РН седовища	Швидкість корозії, мм/рік					
	Ст3	08Х13	07Х13АГ20	І4ХІ7Н2	10Х14Г14Н4Т	08ХІ8Н10Т
2,4...5,2	1,33	0,075	0,015	0,040	0,064	0,050
5,3...7,0	0,58	0,020	0,016	0,022	0,006	0,005
7,5…12	0,33	0,028	0,013	0,057	0,016	0,030

2,4... 12	0,74	0,041	0,015	0,040	0,028	0,028

Як важливий конструкційний матеріал використовують чавун різноманітних марок.

Поршні насосів і компресорів можуть виготовлятись із сірого чавуну СЧ 21. Чавун із легуючими добавками хрому і нікелю застосовується для апаратів, які працюють в лужних розплавах і розчинах (СЧЩ-1, СЧЩ-2). Висококремнисті чавуни С-15, С-17, які містять 15…17 % кремнію, стійкі до дії азотних і гарячої хлористоводневої кислот.

Таблиця 1.4. Корозійна стійкість сталей у кислотно-лужних середовищах

Середовище	Марка сталі	Швидкість корозії, мм/рік
25 %-й водяний розчин H_2SO_4	12Х18Н10Т	6,040
	10ХІ7Н13М2Т	0,001
	08Х22Н6Т	13,67
	08Х21Н6М2Т	0,001
0,4 %-й водяний розчин H_2SO_4	12Х18ІІ10Т	0,005
	10Х17Н13М2Т	0,001
	08Х22Н6Т	0,008
	08Х21Н6М2Т	0,001
0,4 %-й водяний розчин із добавленням фенолу і формаліну	12Х18Н10Т	0,001
	10Х17Н13М2Т	0,001
	08Х22Н6Т	0,007
	08Х2Н16М2Т	0,001
20 %-й водяний розчин NaOH	08Х22Н6Т	0,030
	08Х2Н16М2Т	0,003
1 %-й водяний розчин NaOH	12Х18Н10Т	0,004
	10Х17Н13М2Т	0,001
	08Х22Н6Т	0,006
	08Х21Н6М2Т	0,002
1 %-й водяний розчин NaOH із добавленням фенолу і формаліну	12ХТ8НТОТ	0,003
	10ХІ7Н13М2Т	0,001
	08Х22Н6Т	0,005
	08Х2ТН6М2Т	0,002

Таблиця 1.5. **Корозійна стійкість металів в органічному середовищі, що містить каталізаторний комплекс**

Матеріал	Швидкість корозії, мм/рік	Матеріал	Швидкість корозії, мм/рік
СтЗ	0,34	Сплав ХН65МВ	0,0110
12Х18Н10Т	0,63	Титан ВТ1-0	0,0013
10Х17Н13М2Т	0,48	Мідь Ml	0,1500

Таблиця 1.6. **Корозійна стійкість металевих матеріалів в присутності етилового спирту, акрилової і сірчаної кислот при температурі 90 °С**

Матеріал	Швидкість корозії, мм/ рік	Матеріал	Швидкість корозії, мм/рік
08ХІ8Н10Т	6,90	Н70М27Ф	0,23
08Х17Н13М3Т	6,60	Свинець	0,70
ХН65МВ	0,26	Мідь	1,82
ХН60ВТ	0,40	Титан ВТІ-І	5,10

Таблиця 1.7. **Механічні властивості сірих чавунів при статичному напруженні**

Марка	$\tau_{изг}$, МПа, не менше	$\tau_{сж}$, МПа, не менше	$\tau_{СР}$, МПа, не менше
СЧ10	280	530	110
СЧ15	350	650	150
СЧ20	420	800	200
СЧ25	490	950	250
СЧЗО	560	1100	300
С435	630	1250	350

Сірі чавуни легко обробляються, мають високі ливарні якості, відзначаються великою циклічною в'язкістю. Але в них мала міцність через крихкість.

Ковкі чавуни одержують тривалою термообробкою в процесі лиття. Вони мають більш високу міцність і пластичність. Високоміцні чавуни містять леговані елементи, хром, магній, кремній, нікель і за своїми механічними властивостями наближаються до вуглецевих сталей (σ_y = 1200 МПа; ударна в'язкість 0,3 МДж/м^2).

Модуль пружності чавунів не перевищує $(4...16)\cdot10^4$ МПа. Сірі чавуни використовують для виготовлення корпусних деталей стаціонарних і транспортних машин. З високоміцних чавунів роблять колінчаті вали, які більш зносостійкі, чим з вуглецевих і низьколегованих сталей, та мають меншу вартість. Сірка знижує міцність чавуну.

Для виготовлення теплообмінної апаратури використовують антегмітові матеріали (табл. 1.8), які мають високу корозійну стійкість.

Таблиця 1.8. **Властивості деяких марок антегмітових матеріалів**

Показник	Марка матеріалу		
	АТМ-1	АТМ-10	АТМ-1Г
Густина, кг/м^3	1800	1700	1700
Руйнуюча напруженість при стисканні, МПа	10000	5500	4500
Питома ударна в'язкість, МДж/м^2	0,0030	0,0015	0,0015
Температуростійкість, °С	170	400	600
Теплопровідність, Вт/(м·°С)	0,036	0,100	0,120
Коефіцієнт лінійного розширення х10^6, 1/°С	8,5	2,5	2,2

Залізобетон використовують для виготовлення станин і великогабаритних деталей агрегатів. Для виготовлення залізобетону застосовують сталеву арматуру, цемент, пісок, щебінь (гравій) і воду. Співвідношення цементу, піску, гравію як 1:1:2. Цементні заводи випускають цемент марок 200, 250, 300, 400, 500, 600. Числа вказують межу міцності (МПа) на стиск збільшену в 10 разів. Міцність одержуваного бетону досягає 50...60 МПа. Якщо застосувати в якості наповнювача сталеві опилки, то міцність бетону збільшиться до 100 МПа.

Модуль пружності бетону $3\cdot10^4$ МПа, тобто в 3 рази менше, чим чавуну. Бетон нестійкий до дії кислот, лугів, мінеральних масел і мастильно-охолоджуючих рідин.

Портландцемент містить 65...70 % CaO; 20...25 % SiO_2; 8...10% Al_2O_3, 2...5 % Fe_2O_3. Коефіцієнт лінійного розширення бетону дорівнює $12\cdot10^{-6}$ 1/°С, тобто приблизно як у сталі. Застосовують попередньо напружені залізобетони.

Неметалеві конструкційні матеріали знаходять усе ширше застосування в технології неорганічних речовин через їх високу хімічну стійкість та економічність.

З неорганічних матеріалів застосовують кераміку й плавленні діабазові труби та плитки (із суміші оксидів кремнію й алюмінію), азбестові вогнестійкі тканини, вату, шнури. Такі матеріали використовують для виготовлення внутрішньої ізоляції, холодильників, колон, відцентрових насосів, ємностей.

Дуже широкий асортимент органічних матеріалів, які мають хімічну стійкість, високу теплопровідність, достатню теплостійкість (табл. 1.9).

Таблиця 1.9. **Фізико-механічні показники пластиків**

Показник	АБС	Кремне-земисте волокно	Поліметіл-феніл-сілоксан	ПВХ, вініпласт	Полі-етилен	Полі-уретан	Эпок-сиди
Густина, кг/м^3	1030	1700	—	1400	900	1210	1165
Міцність , МПа							
на розрив	500	—	3500	500	300	600	800
на вигин	700	600	2250	1100	—	750	1200
Теплостійкість,°С	104	300	300	150	160	110	120

При виборі неметалевих конструкційних матеріалів варто враховувати їхні фізико-хімічні властивості, температуру плавлення або руйнації, хімічну стійкість у даному середовищі. Найширше застосовуються графіт і графітоліти, антегміти, фаоліт, вініпласт, поліетилен, фторопласт, поліпропілен, поліізобутилен, гума.

Для запобігання корозії стінок апаратури застосовують плівкові покриття товщиною 0,1...0.5 мм із корозійностійких металів, лаків, фарб, бітуму, кислототривкої емалі, полімерів, зокрема фторопласту — 3М.

Сітали — це силікатне скло з дрібнокришталевою структурою (розмір кристалітів 0,02…1,00 мкм). Вони не крихкі

й витримують ударні навантаження, зберігають міцність при температурах до 600 °С,

$\sigma_В$ = 300...500 МПа, $\sigma_С$ = 800..1200 МПа. Вони стійкі до дії сильних лугів і кислот (крім плавикової).

Густина сіталів 2,5...3,0 кг/дм^3; теплоємність 0,8 Дж/(кг·°С), теплопровідність (2,4...8,0)·10^{-3} Вт/(м·°С), Е = (7...15)·10^4 МПа, коефіцієнт лінійного розширення 30·10^{-6} 1/°С. Є сітали, що при нагріванні не розширюються і не стискуються, добре витримують теплові удари.

З сіталів роблять деталі насосів, теплообмінників, трубопроводи, ємності, резервуари, фільєри, їх також застосовують як лицювальний матеріал.

Пластмаси термостійкі до 80...140 °С. Полісилоксани, фторопласт витримують температуру до 200...250 °С та мають $\sigma_в$ = 50...100 МПа, Е = (1...3)·10^3 МПа.

Багато пластмас набухають у воді, мінеральних оливах. Вони схильні до старіння. Проте, велика кількість марок пластмас із різними властивостями, дозволяє підібрати придатний для даних умов матеріал.

Перспективні для конструювання апаратури вуглеграфіти. Вутлеграфіти складаються із суміші графіту, вугілля, сажі, коксу і пеку, спресованої та підданої випалюванню. Основним компонентом цієї суміші є графіт. Його властивості: густина 2,19... 2,22 кг/дм^3; руйнуюча напруженість до 20 МПа; Е = 8·10^3 МПа; коефіцієнт лінійного розширення (0,5..1,0)·10^{-6} 1/°С; коефіцієнт теплопровідності (6...8)·10^{-3} Вт/(м·°С).

Вуглеграфіти використовують для виготовлення підшипників, що працюють при високій температурі й у відсутності мастила. Недоліком вуглеграфітових виробів є крихкість.

Для надання міцності, теплопровідності та зносостійкості в вуглеграфіти вводять металеві порошки (Cu, Cd, Pb), сілоксани, тефлон. Такі матеріали називають графітопластами. З них роблять ущільнюючі кільця турбін, диски торцевих ущільнень.

Різновидом графітопластів є антегміти, в складі яких є феноло-формальдегідні смоли. Антегміти використовують для виготовлення теплообмінної апаратури, труб у виробництві кислот і інших агресивних рідин.

Як засоби захисту апаратів від корозії застосовують інгібітори в кількості 0,02...0,20 % від обсягу речовини, що переробляється. Відомо досить багато різноманітних інгібіторів, які дозволяють знизити швидкість корозії в 4...5 разів і більш. Механізм дії інгібіторів звичайно полягає в їхній спроможності адсорбуватися на поверхні металу з утворенням захисної плівки.

Запитання і вправи для самоконтролю

1. Яку роль відіграють конструкційні матеріали в хімічній промисловості?
2. Дайте класифікацію конструкційних матеріалів для хімічної промисловості.
3. Назвіть склад вуглецевих сталей.
4. Роль вуглецю в створенні властивостей сталей.
5. В чому полягає різниця між сталлю та чавуном?
6. Назовіть легуючі елементи, які посилюють міцнісні та антикорозійні властивості сталей.
7. Маркирування сталей та чавунів.
8. Особливості сплавів з алюмінію.
9. Які конструкційні матеріали можна застосовувати для мінеральних кислот, лугів?
10. Які конструкційні матеріали можна застосовувати для хлорорганічних сполук?
11. Перелічіть основні фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів, якими необхідно керуватися під час конструювання хімічної апаратури, що експлуатується в умовах високої температури та високого тиску.
12. Назвіть фізико-механічні показники пластиків, що застосовуються в хімічній апаратурі як конструкційні матеріали.
13. Способи захисту апаратури від корозії.

14. В чому заключаються переваги та недоліки полімерних конструкційних матеріалів у порівнянні з металами та сплавами?
15. Властивості деяких марок антегмітових матеріалів.
16. Чому неметалеві конструкційні матеріали знаходять усе більш широке застосування в технології неорганічних речовин?
17. Якими характерними властивостями відрізняються вуглеграфітові конструкційні матеріали?

Розділ 2 РОЗРАХУНОК ХІМІЧНОЇ АПАРАТУРИ НА МЕХАНІЧНУ МІЦНІСТЬ

2.1. Вибір розрахункових значень температури й тиску

Розрахунок апаратів на механічну міцність роблять на найбільш несприятливі умови — гідравлічні і пневматичні випробування, експлуатація в агресивному середовищі, збільшення навантажень при пуску й зупинці, впливи вітрового й сейсмічного навантажень. Визначальними параметрами при розрахунках є температура та тиск.

Розрахункову температуру визначають теплотехнічними розрахунками або випробуваннями.

Розрахункова температура не завжди збігається з робочою температурою технологічного процесу. Мінімальна розрахункова температура дорівнює 20 °С. Якщо апарат обладнаний тепловою ізоляцією, то розрахункову температуру треба приймати на 20 °С вище температури поверхні ізоляції з боку стінок. Для апаратів, що обігріваються відкритим полум'ям, електричним струмом або гарячими газами температурою більш 250 °С, розрахункова температура на 20 °С вище температури теплового джерела для закритого обігріву і на 50 °С — при прямому підігріві. При від'ємній робочій температурі розрахункова температура приймається рівною 20 °С.

Розрахунковий тиск приймають, як правило рівним або вище робочого тиску.

Коли на аппарат чи його елемент діє гідротехнічний тиск, що на 5 % вище робочого то розрахунковий тиск збільшується на це ж значення.

Якщо робочий надлишковий тиск $P_p > 0,07$ МПа (апарат обладнаний запобіжним клапаном), то при виборі розрахункового тиску Р додержуються умови

$$1,1p \le P \le P_p + 0,2 \text{ МПа}, \qquad (2.1)$$

для пожежонебезпечних, токсичних і вибухонебезпечних середовищ. У інших випадках

$$1{,}1p \leq P \geq P_p + 0{,}1 \text{ МПа}.$$

Якщо робочий тиск $P_p > 0{,}07$ МПа й апарат має запобіжні мембрани, то

$$P = 1{,}25P_p.$$

Для випадків, коли $P_p \leq 0{,}07$ МПа для будь-якого середовища, крім скраплених газів:

при $P_p = 0{,}05...0{,}07$ МПа $P = 0{,}1$ МПа;
при $P_p < 0{,}05$ МПа $P = 0{,}06$ МПа.

Якщо $P_p \leq 0{,}07$ МПа при наявності вуглеводнів або скраплених газів розрахунковий тиск приймається відповідно табл. 2.1.

Таблиця 2.1. **Розрахунковий тиск для вуглеводнів та скраплених газів при робочому тиску $P_p \leq 0{,}07$ Мпа**

Газ	P, МПа	Газ	P, МПа
Фракція C_2	2,0	Фреон 12	1,0
Фракція C_4	0,6	SO_2	0,8
Фракція C_5	0,3	CH_3Cl	0,9
Аміак	1,6	CO_2	7,6

Для вуглеводневих фракцій C_3 на всмоктувальній лінії P = 1,6 МПа, на нагнітальній лінії P = 2,0 МПа.

Для апаратів місткістю менше 30 $м^3$, що працюють при атмосферному тиску, P = 0,01 МПа. При залишковому тиску до 0,05 МПа розрахунковий тиск P = 0,1 МПа.

Умовний (номінальний) тиск P_y — це надлишковий робочий тиск (без урахування гідростатичного тиску) при 20 °С. Для більш високих температур умовний тиск відповідно повинен

бути зменшений. За стандартами прийнятий такий ряд умовних тисків, МПа: 0,1; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,4; 10; 16; 20. Пробний тиск вибирається в залежності від робочого тиску (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2. **Залежність пробного тиску від робочого тиску**

Робочий тиск, МПа	Пробний тиск, МПа
Вакуум	$\max\{1,5\cdot P\cdot[\sigma]_{20}/[\sigma]; 0,2\}$
Понад 0 до 0,07	0,2
Більше 0,07 до 0,5	$\max\{1,5\cdot P_p\cdot[\sigma]_{20}/[\sigma]; 0,2\}$
Більше 0,5	$\max\{1,25\cdot P_p\cdot[\sigma]_{20}/[\sigma]; P_p + 0,3\}$
Більше 0,07 (для литих виробів)	$\max\{1,5\cdot P_p\cdot[\sigma]_{20}/[\sigma]; 0,3\}$

Для апаратів, що працюють при зовнішньому тиску, допускається застосування формули

$$P_{пр} = 1,25\cdot P_p\cdot[\sigma]_{20}/[\sigma]. \qquad (2.2)$$

Відношення $[\sigma]_{20}/[\sigma]$ приймається для того матеріалу, у якого воно має найменше значення.

В апаратів, що виготовляються з різнорідних матеріалів, відношення $[\sigma]_{20}/[\sigma]$ беруть з найменш міцного матеріалу.

2.2. Вибір допустимої напруженості

Напруженість сталей визначають за наступними формулами:

$$[\sigma] = \eta\cdot\sigma_T/n_T ; \qquad (2.3)$$

$$[\sigma] = \eta\cdot\sigma_B/n_B; \qquad (2.4)$$

$$[\sigma] = \eta\cdot\sigma_{0,2}/n_T ; \qquad (2.5)$$

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma_{D \cdot 10^5} / n_{D;} \qquad (2.6)$$

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma_{D \cdot 10^5} / n_n \, . \qquad (2.7)$$

Формули (2.1) і (2.2) служать для розрахунку допустимої напруженості в вуглецевих сталях при t ≤ 380 °С і низьколегованих при 420 °С. У високо-легованих сталях при t ≤525 °С допустимі напруженості визначають за формулами (2.3), (2.4) і (2.5). Формули (2.6) і (2.7) використовують для розрахунку допустимих напруженостей при більш високих температурах у всіх сталях.

Допустимі напруженості в вуглецевих і легованих сталях наведені в табл.2 3, а високолегованих — у табл. 2.4.

Таблиця 2.3. **Допустимі напруженості в сталях, МПа**

t,°С	ВСтЗ	20, 20к	09Г2С	10Г2	12ХМ	12ХМ	15МХ	15Х5М	15Х5М-У
20	154	147	146	180	147	147	155	146	240
100	144	142	177	160	—	—	—	141	235
200	142	136	165	148	145	145	152	134	225
300	115	119	151	134	141	141	147	120	210
400	85	92	122	92	132	132	137	105	170
430	71	75	86	75	127	127	134	99	140
480		46	53	46	114	114	117	86	118
500					96	96	99	79	108
520					69	69	74	66	85
540					50	47	57	54	58
560					33	—	41	40	45
580								30	34
590								28	30
600								25	25

Таблиця 2.4. **Допустимі напруженості у високолегованих сталях, МПа**

t, °C	08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	03Х18Н1	03Х16Н15М3	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М-2Т 08Х17Н15М-3Т	12Х18Н10Т 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т
20	240	160	153	147	168	184
100	207	133	140	138	156	174
150	200	125	130	130	148	168
200	193	120	120	124	140	160
250	173	115	113	117	132	154
300	167	112	103	110	123	148
350	—	108	101	107	113	144
400	—	107	87	103	103	136
420			82		101	113,5
450			80		99	132
600					57	74
700						30

Залежність модуля пружності від температури для основних видів сталей наведена в табл.2.5.

Таблиця 2.5. **Залежність модуля подовжньої пружності $E \cdot 10^{-5}$ МПа від температури t, °C**

Сталь	Температура, °C						
	20	100	150	200	250	300	350
Вуглецева й низьковуглецева	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64
Жароміцна і жаростійка аустенітна	2,00	2,00	1,99	1,97	1,94	1,90	1,85

Теплостійка і корозійностійка хромиста	2,15	2,15	2,05	1,98	1,95	1,90	1,84

Закінчення табл. 2.5

Сталь	Температура, °С					
	400	450	500	550	600	650
Жароміцна і жаростійка аустенітна	1,80	1,74	1,67	1,60	1,52	1,46
Теплостійка і корозійностійка хромиста	1,78	1,71	1,63	1,54	1,40	—

Коефіцієнт запасу міцності в формулах (2.3)—(2.7) вибирається за табл. 2.6. При розрахунку апаратів і їхніх елементів на міцність і стійкість враховують коефіцієнт міцності зварних швів φ (табл. 2.7).

Таблиця 2.6. **Значення коефіцієнтів запасу міцності**

Умови навантаження	Значення коефіцієнтів			
	$n_в$	$n_т$	n_D	$n_п$
Робочі	2,60	1,65	1,50	1,00
Випробування та монтаж	1,1	—	—	—

У розрахункові формули передбачається введення прибавок

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \qquad (2.8)$$

де C_1 — прибавка на корозію й ерозію; C_2 — прибавка на мінусове відхилення товщини листа стінки; C_3 — прибавка на точність виготовлення апарата (технологічна прибавка). При швидкості корозії й ерозії до 0,05 мм/рік приймають $C_1 = 1$ мм.

При відсутності даних про корозійну стійкість матеріалу рекомендується приймати $C_1 = 2$ мм.

Прибавки C_2 і C_3 не враховуються, якщо їхня сума не перевищує 0,05 товщини стінки або елемента, що розраховуються.

Таблиця 2.7. ***Коефіцієнт міцності зварних швів φ***

Вид зварного шва	Коефіцієнт φ при довжині швів	
	100% загальної довжини	10 —50% загальної довжини
Стиковий або тавровий із двостороннім суцільним проваром, виконуваний автоматичним зварюванням	1,0	0,90
Стиковий із підваркою кореня шва або тавровий, виконуваний вручну	1,0	0,90
Стиковий з одностороннім проваром із металевою підкладкою	0,90	0,80
Стиковий, виконуваний автоматичним зварюванням з однієї сторони з флюсовою підкладкою	0,90	0,80
Стиковий із ручним зварюванням з однієї сторони	0,90	0,65
В тавр, з конструктивним зазором зварюваних деталей	0,80	0,65

2.3. Основи конструювання хімічних апаратів

При конструюванні хімічних апаратів варто домагатися збільшення економічного ефекту за рахунок корисної віддачі машини або апарату, довговічності, продуктивності, зниження експлуатаційних витрат, енергоспоживання, вартості обслуговування і ремонту, підвищення ступеня автоматизації та скорочення обслуговуючого персоналу. Рекомендується передбачати можливість удосконалювання конструкції в майбутньому, скорочувати число типорозмірів і моделей, конструювати вузли в формі незалежних і легко замінних

агрегатів, скорочувати витрати дефіцитних матеріалів, застосовувати уніфікацію елементів конструкції, а також стандартні вузли та деталі. При цьому важливо пам'ятати про необхідність попередження корозії за рахунок застосування корозійностійких матеріалів та стійких покрить.

При конструюванні хімічних реакторів, тепло- і масообмінних апаратів спочатку вирішують питання вибору форми і розмірів корпусу апарата — циліндричнй, конічнй, сферичний, реакційного типу — ідеального змішування, ідеального витіснення, із рухомим, псевдозрідженим або нерухомим шаром, періодичної або безупинної дії.

Конструкція, розміри й розташування люків, кришок, фланцеві з'єднання вибираються, виходячи з необхідності та зручності ремонту, експлуатації, чищення апарату. Варто мати на увазі, що різьбові й роз'ємні з'єднання у вузлах дорожчі зварних, нероз'ємних. Застосування різьбових з'єднань допускається в хімічному устаткуванні, що працює при температурі не більш 300 °С і при номінальному діаметрі з'єднань до 50 мм.

При конструюванні хімічного устаткування доводиться вирішувати завдання забезпечення механічної міцності, жорсткості конструкції, герметичності, довговічності та надійності, транспортабельності апаратів. Враховують установлені стандартами норми і правила проектування й розрахунку. Необхідно пам'ятати, що є норми на ряди тисків, діаметрів апаратів, умовних проходів трубопроводів і арматури.

Нормалізовані апарати загального призначення — холодильники, теплообмінники, випарні апарати, фільтри, барабани печей і холодильників та ряд інших. При проектуванні апаратури керуються правилами та галузевими нормами, що стосуються охорони праці, охорони довкілля, техніки безпеки й промислової санітарії.

2.4. Розрахунок хімічних апаратів на міцність

2.4.1. Розрахунок товщини стінок апаратів

Найрозповсюдженіші циліндричні апарати. Їх виготовляють із сталі, різноманітних сплавів та інших пластичних матеріалів. При робочому тиску до 10 МПа виготовляють апарати вальцюванням листів із наступним зварюванням. При більш високих тисках застосовують поковку, а також сталеві труби діаметром до 1020 мм. Чавунні та бронзові обичайки відливають. Розрахунок циліндричних апаратів на механічну міцність виконують за стандартними методиками.

Виконавча товщина стінки обичайки циліндричної форми, що знаходиться під внутрішнім тиском, визначається за формулою (2.9)

$$S \geq S_p + C, \qquad (2.9)$$

$$S_p = P \cdot D/(2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P),$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3,$$

де S_p — розрахункова товщина стінки; P — розрахунковий внутрішній надлишковий тиск в апараті; D — діаметр обичайки; [σ] — допустима напруженість; φ_p — коеффіцієнт ослаблення міцності. Для зварювальних швів різних типів φ_p = 0,65...1,00 (табл. 2.7).

Коефіцієнт ослаблення міцності обичайки через наявність отвору визначають за формулою

$$\varphi_p = (D - d_o)/D, \qquad (2.10)$$

де d_o діаметр отвору, м.

При розрахунку товщини стінки тонкостінних апаратів враховують умову

$$(S - C)/D \leq 0,1.$$

Для обичайок, що знаходяться під внутрішнім тиском і навантажені силою, яка розтягує, P_c

$$S - C = (P_c + 0{,}25\cdot\pi\cdot\rho\cdot D^2)/(\pi\cdot D\cdot[\sigma]). \qquad (2.11)$$

Якщо обичайка є під впливом зовнішньої осьової стискаючої сили й виконується умова $1/D \geq 1{,}0$, то осьові стискуючі сили, що допускаються, будуть визначатися за формулами:

$$[P_1] = \pi(D + S)\cdot(S - C)\cdot[\sigma], \qquad (2.12)$$

$$[P_1]_E = \min\{[P_1]_{E_1}; [P_1]_{E_2}\}, \qquad (2.13)$$

$$[P_1]_{E_1} = 310\cdot 10^{-6}\cdot E / n_n D^2 [100(S-C)/D]^2 \sqrt{100(S-C)/D}, \qquad (2.14)$$

$$[P_1]_{E_2} = \pi\cdot(D + S - C)\cdot(S - C)\cdot E/n_n\cdot(\pi/\lambda_{пр}) \qquad (2.15)$$

де $\lambda_{пр}$ — приведена гнучкість обичайки

$$\lambda_{пр} = 2{,}83 l_{пр}(D+S), \qquad (2.16)$$

$l_{пр}$ — приведена довжина обичайки.

Результуюча допустима осьова стискуюча сила

$$[P_1] = [P_1]_p / \sqrt{1 + \left([P_1]_p / [P_1]_E\right)^2}. \qquad (2.17)$$

Якщо обичайка зазнає дії зовнішнього вигинаючого моменту, то

$$[M] = [M]_p / \sqrt{1 + \left([M]_p / [M]_E\right)^2}, \qquad (2.18)$$

де допустимий вигинаючий момент визначається з умови стійкості в межах пружності

$$[M]_E = 89\cdot10^{-}6\cdot E/n_n \cdot D^3\,[100\cdot S/D]^2\,\sqrt{100\cdot S/D} = D/3{,}5[P_1]_E. \quad (2.19)$$

Якщо обичайка навантажена зовнішньою поперечною силою, то допустима поперечна сила

$$[Q] = [Q]_p / \sqrt{1 + \left([Q]_p / [Q]_E\right)^2}\,. \quad (2.20)$$

$$[Q]_p = 0{,}25\cdot\pi\cdot D\cdot(S - C)\cdot[\sigma]. \quad (2.21)$$

$$[Q]_E = 2{,}4\cdot E\cdot S^2[0{,}18 + 3{,}3\cdot D\cdot S/l^2]. \quad (2.22)$$

При спільній дії зовнішнього тиску, зовнішньої осьової сили і зовнішнього вигинаючого моменту перевірка апарату на стійкість провадиться за такою формулою:

$$P/[P] + P_1/[P_1] + (Q/[Q])^2 + M/[M] \le 1{,}0. \quad (2.23)$$

Необхідність установки колець жорсткості на обичайках циліндричних посудин при внутрішньому надлишковому тиску перевіряється формулою

$$K = P\cdot(D + S)/(2\cdot(\varphi_p \cdot [\sigma]\cdot S) - 1 > 0. \quad (2.24)$$

Якщо $K < 2\varphi_T/\varphi_P - 1$, то відстань між двома сусідніми кілцями жорсткості

$$b \le \sqrt{D\cdot S\cdot\left[2/K - \varphi_p\cdot\varphi_T\cdot(1 + 1/K)\right]} \quad (2.25)$$

Площа поперечного перетину кільця

$$F_K \geq l \cdot S \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p / ([\sigma]_к \cdot \varphi_к) \cdot K, \qquad (2.26)$$

де $l = b + b_к$ і $b_к$ — товщина кільця.

Висота кільця розраховується з умови

$$h = 0{,}2 \cdot D,$$

де D — внутрішній діаметр обичайки.

При зовнішньому надлишковому тиску спочатку розраховують допустимий зовнішній тиск за формулами

$$[P] = \min\{[P]_1 ; [P]_2\}, \qquad (2.27)$$

$$[P]_1 = [P]_{1p} / \sqrt{1 + \left([P]_{1p} / [P]_{1E}\right)^2}, \qquad (2.28)$$

$$[P]_{1p} = (2[\sigma]\varphi p \cdot S + 2[\sigma]_k \cdot \varphi_k F_K / l) \cdot (D+S). \qquad (2.29)$$

Приймають $\varphi_P = 1{,}0$; $\varphi_K = 1{,}0$.

$$[P]_{1E} = 18 \cdot 10^{-6} \cdot E/(K \cdot B_2 \cdot n_n) \cdot D/L[100(S-C)/D]^2 \cdot \sqrt{100 \cdot K(S-C)/D}, \qquad (2.30)$$

де

$$B_2 = \min\{1{,}0;\ 8{,}15 \cdot D/L\sqrt{D/[100 \cdot K(S-C)]}\}. \qquad (2.31)$$

Потім розраховують коефіцієнт жорсткості обичайки

$$K = \sqrt{10{,}9 \cdot I / [l_1 \cdot S^3]} \qquad (2.32)$$

і ефективний момент інерції

$$J = J_k + \cdot l_1 \cdot S^3/10{,}9 + l^2 \cdot F_F \cdot l_l \cdot S/[F_к + l_l \cdot S], \qquad (2.33)$$

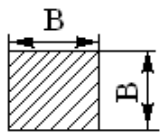
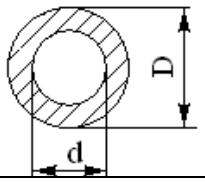
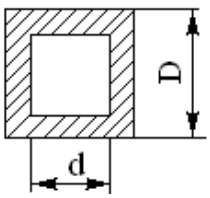
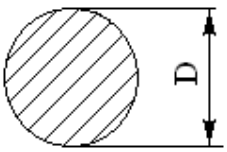
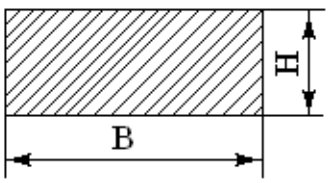
Де l_1 — ефективна довжина стінки обичайки

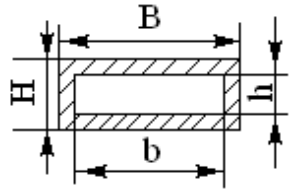
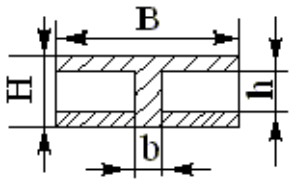
$$l_1 = \min\{ l_1/l_2 ; [b_k + 1{,}1\cdot\sqrt{D\cdot S}\,]. \qquad (2.34)$$

Де $b_к$ — ширина кільця жорсткості; l — відстань між центром ваги поперечного перетину кільця жорсткості й серединної поверхні обичайки; l_1 — міжосьова відстань між сусідніми кільцями жорсткості; l_2 — відстань між крайнім кільцем жорсткості й днищем (або кришкою).

У табл. 2.8 наведені формули для розрахунку перетину (F), моменту опору (W) й моменту інерції (I) профілів, які зустрічаються найчастіше.

Таблиця 2.8. **Формули для розрахунку перетину, моменту опору і моменту інерції для випадку вигину у вертикальній площині різноманітних профілів**

Ескіз	F	W	I
	B^2	$B^3/6$	$B^4/12$
	$\pi\cdot(D^2–d^2)/4$	$0{,}1\cdot(D^4-d^4)/D$	$0{,}05\cdot(D^4–d^4)$
	$B^2 – b^2$	$(B^4–b^4)/6B$	$(B^4–b^4)/12$
	$\pi\cdot D^2/4$	$0{,}1\cdot D^3$	$0{,}05\cdot D^4$
	BH	$BH^2/6$	$BH^3/12$

	BH–bh	$(BH^3–bh^3)/(6H)$	$(BH^3–bh^3)/12$
	BH–bh	$(BH^3–bh^3)/(6H)$	$(BH^3–bh^3)/12$

Якщо апарат працює під зовнішнім тиском, то товщину обичайки розраховують, виходячи з умови стійкості в межах пружності матеріалу.

$$S = 1{,}18 \cdot D \cdot (P \cdot L/(E \cdot D))^{0{,}14} + C, \qquad (2.35)$$

Наведене робоче рівняння справедливе при дотриманні таких двох нерівностей:

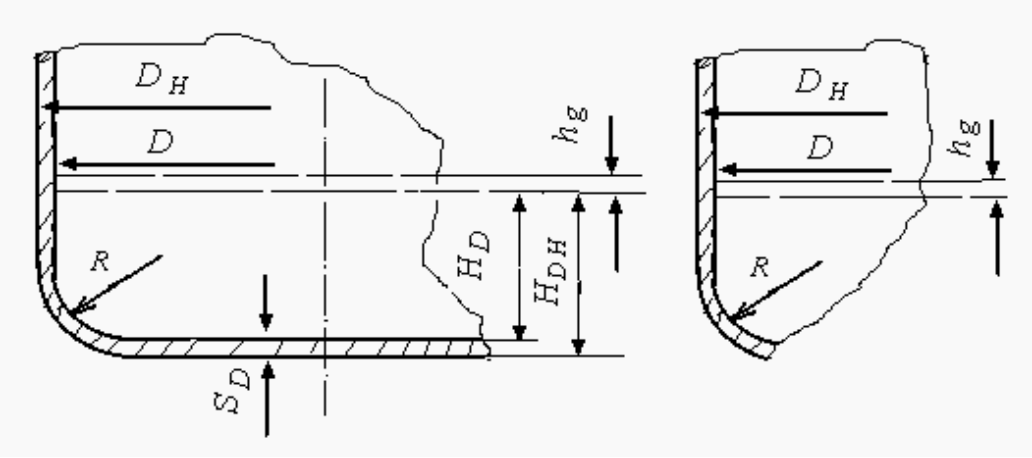
$$1{,}5\sqrt{2(S-C)/D} \le L/D \le \sqrt{D/(2[S-C])} \quad . \qquad (2.36)$$

$$L/D \ge 0{,}3 \cdot E//[\sigma_T] \cdot \sqrt{[2(S-C)/D]^3}\,, \qquad (2.37)$$

де σ_T — межа текучості матеріалу при розрахунковій температурі, МПа. Для вуглецевистої сталі, сталі 12ХІ8Н10Т при нормальній температурі $\sigma_т$ = 200...250 МПа.

2.4.2. Розрахунок випуклих днищ

Найрозповсюдженіші випуклі днища еліптичні та напівсферичні. Конструкції таких днищ показані на рис. 2.1.



а **б**

Рис. 2.1. Конструкції еліптичних (*а*) і напівсферичних (*б*) днищ

При внутрішньому надлишковому тиску товщина стінки днища визначається за формулою $S = S_D + C$.

$$S_D = P \cdot R / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0{,}5P). \qquad (2.38)$$

Радіус кривизни при вершині днища

$$R = D^2 / (4 \cdot H_D). \qquad (2.39)$$

Для еліптичних днищ з $H_D = 0{,}25D$ приймається $R = D$.

Для напівсферичних з $H_D = 0{,}5 \cdot D$ приймається $R = 0{,}5 \cdot D$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск

$$[P] = 2 \cdot S_D \cdot \varphi \cdot [\sigma] / [R + 0{,}5S_D]. \qquad (2.40)$$

Товщина стінки днища повинна бути не менше товщини стінки обичайки апарата.

Якщо днища навантажені зовнішнім надлишковим тиском, то

$$S_D = \max\{ K_D \cdot R / 510 \cdot \sqrt{n_n \cdot P / 10^{-6} E}\,;\ P \cdot R / (2 \cdot [\sigma])\}. \qquad (2.41)$$

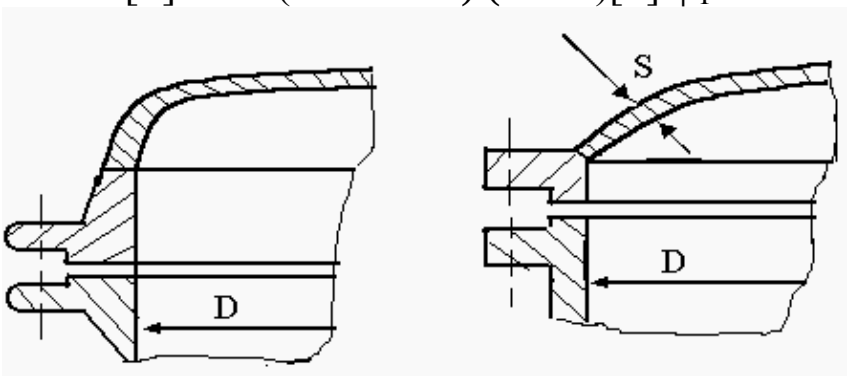
При розрахунку напівсферичних і еліптичних днищ рекомендується додержуватися таких умов:

$$0{,}002 \le S_D/D \le 0{,}1,$$
$$0{,}2 \le H_D/D \le 0{,}5.$$

2.4.3. Розрахунок сферичних кришок і днищ

Конструкції сферичних кришок показані на рис 2.2.
Допустима осьова сила, яка розтягує

$$[P] = \pi \cdot (D + S - C)\cdot(S - C)[\sigma]\cdot\varphi_T. \qquad (2.42)$$



а *б*

Рис. 2.2. Конструкції сферичних кришок: *а* — еліптична з фланцем, привареним у стик; *б* — із кутовим зварним з'єднанням фланцем

Вищенаведені формули застосовують за умови, що $S/D \le 0{,}1$ для обичайок і труб, що мають $D \ge 200$ мм і $S/D \le 0{,}3$ для труб із $D < 200$ мм.

При конструюванні сферичних кришок і днищ додержуються умови

$$0{,}95\cdot D \le R \le D.$$

Товщина стінки сферичної кришки або днища розраховується за формулою

$$S = 0{,}58 \cdot P \cdot R /(\varphi \cdot [\sigma]). \qquad (2.43)$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск

$$[P] = 1{,}73 \cdot S \cdot [\sigma] \cdot \varphi / R. \qquad (2.44)$$

Товщину плоских кришок і днищ розраховують за формулою

$$S = K \cdot D_R \sqrt{P / ([\sigma] \cdot \varphi)}, \qquad (2.45)$$

де К — коефіцієнт, що залежить від конструкції зварного з'єднання кришки з обичайкою, приймають К = 0,35...0,53 [22].

Отримане розрахункове значення товщини стінки обичайки або днища округляють до найближчого нормалізованого значення.

Приклад 1. Розрахувати товщину стінки зварного циліндричного випарного апарату, що працює при надлишковому тиску Р = 0,35 МПа. Середовище — водяна пара під тиском 0,4 МПа при температурі 145 °С. Матеріал обичайки — сталь І2ХІ8Н10Т; проникність сталі П = 0,05 мм/рік, термін служби апарату 20 років. Внутрішній діаметр обичайки D = 2,2 м, отвори в обичайці укріплені; зварний шов стиковий із двосторонньою проваркою ($\varphi = 0{,}95$).

Допустиму напруженість виберемо з табл. 2.4 $[\sigma] = 168$ МПа.

Товщину стінки апарата визначаємо за формулою (2.9)

$$S = \frac{0{,}35 \cdot 2{,}2}{2 \cdot 168 \cdot 0{,}95 - 0{,}35} + 0{,}05 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0{,}00241 + 0{,}00100 = 0{,}00341 \text{ м}.$$

Розраховане значення округляємо до нормального S = 0,004 м, або S = 4 мм.

Перевіряємо умову правоспрожності застосування вище наведеної формули

$$(S - C)/D \le 0{,}1,$$

$$10^{-3}\cdot(4{,}0 - 1{,}0)/2{,}2 = 0{,}014.$$

Визначаємо допустимий тиск

$$\frac{2[\sigma]\cdot\varphi\cdot(S-C)}{D+(S-C)} = \frac{2\cdot 168\cdot 0{,}95\cdot(4-1{,}0)\cdot 10^{-3}}{2{,}2+(4-1{,}0)\cdot 10^{-3}} = \frac{0{,}780}{2{,}2030} = 0{,}435 \text{ МПа}.$$

Дотримується умова [P] > P.

Приклад 2. Розрахувати товщину стінки відбортованого еліптичного днища для обичайки випарного апарата працюючого в умовах, наведених у прикладі 1. Днище зварне ($\varphi_ш$ = 0,95), у ньому є розташований в центрі отвір d_o= 0,12м.

Знаходимо коефіцієнт ослаблення міцності днища

$$\varphi_o = (2{,}2 - 0{,}12)/2{,}2 = 0{,}945.$$

Тому що $\varphi_ш > \varphi_o$, приймаємо φ = 0,945.

Знаходимо товщину стінки днища

$$S = \frac{0{,}35\cdot 2{,}2}{2\cdot 168\cdot 0{,}945 - 0{,}5\cdot 0{,}35} + 0{,}00100 = 0{,}00242 + 0{,}00100 = 0{,}00342 \text{ м}.$$

Округляємо S = 0,004 м.

Умова (S – C)/D < 0,125 виконується, тому що

(0,004 – 0,001)/2,2 = 0,0014.

2.5. Розрахунок товщини трубних дощок (решіток)

Трубні дошки (решітки) застосовують у теплообмінниках різних конструкцій. Вони слугують для закріплення трубок, які передають тепло, і відділення трубного та міжтрубного просторів у теплообмінних апаратах. Кріплення трубок роблять развальцьовуванням, а також зварюванням або паянням.

Зазвичай трубки в трубній дошці розміщують у вершинах рівнобічних трикутників. У цьому випадку крок між трубками t і діаметр трубок d_T можна приймати за залежністю:

t, мм	d_T, мм	t, мм	d_T, мм
$1{,}4 \cdot d_T$	≤ 14	$1{,}3 \cdot d_T$	20...30
$1{,}35 \cdot d_T$	14...20	$1{,}25 \cdot d_T$	> 30

Зображення однієї з конструкцій трубної дошки показане на рис. 2.3.

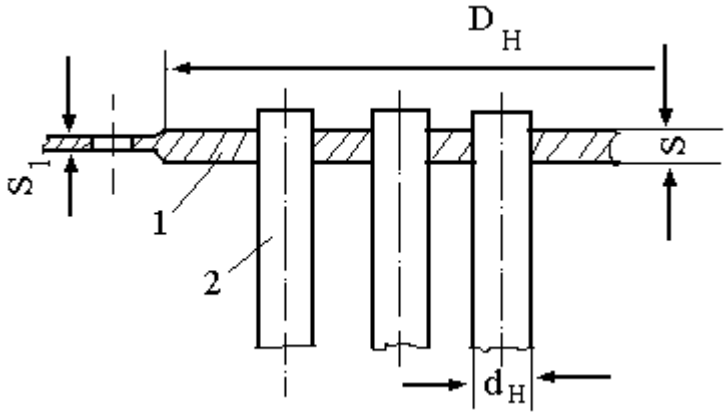


Рис. 2.3. Конструкція трубної дошки (1) і теплообмінної трубки (2)

При розрахунку дощок важливо визначити чинні на них навантаження. Дошки в теплообмінниках із U-видним трубним пучком, а також із плаваючою голівкою зазнають дії на вигин від тисків у трубному (P_T) й міжтрубному ($P_м$) просторах. У розрахунку враховують більший з цих тисків

$$S = 0{,}47 \cdot D_н \cdot \sqrt{P / \varphi_0 \cdot [\sigma_в]} + C,$$

де φ_o коефіцієнт ослаблення міцності дошки

$$\varphi_o = (D_H - Z \cdot d_n) / D_H,$$

де $Z \cdot d_H$ — сума діаметрів отворів на діаметрі дошки, м; Z — кількість труб на діаметрі дошки.

$$Z = 2\sqrt{(n-1)/3 + 0{,}25}.$$

Розмір S_1 визначають за формулою

$$S_1 = K \cdot D_н \cdot \sqrt{P/[\sigma_в]} + C ,$$

де К =0,36...0,38.

Якщо в теплообмінниках є температурні компенсатори, то перевіряють стійкість труб при осьовому стисненні, що виникає через різницю температур корпусу й трубного пучка.

При розвальцьовуванні труб у дошках перевіряють додаткову умову

$$S \geq P_р(d_Н \cdot q), \qquad (2.46)$$

де $P_р$ — осьова сила, що виникає через температурне розширення.

Для апаратів із нерухомими трубними дошками

$$P_р = 0{,}785 \cdot (D_п^2/n - d_н^2) \cdot P,$$

де n — число труб; P — більший із тисків $P_т$ і $P_м$; q — допустиме навантаження на одиницю розвальцювання, МПа.

Рекомендується приймати допустиме навантаження для сталевих труб при гладкому розвальцюванні рівному 15 МПа, при розвальцюванні в канавках — 30 МПа і з відбортовкою труб — 40 МПа.

Додаткова вимога до конструкцій із сталевими трубами

$$0{,}001 \leq S \cdot (t - d_Н) \geq 4{,}35 \cdot d_н + 15. \qquad (2.47)$$

Приклад 3. Розрахувати товщину трубної дошки в теплообміннику з плаваючою голівкою. Вихідні дані: $D_н$ = 0,60 м; $P_т$ = =1,4 МПа; $P_м$ = 1,2 МПа; труби 25×2 мм; число труб на діаметрі дошки Z = 16; матеріал дошки — сталь 12Х18Н10Т; $[\sigma_и]$= =140 МПа; С = 1,0 мм

Рішення. Коефіцієнт ослаблення дошки через наявність отворів для труб

$$\varphi_0 = \frac{0{,}60 - 16 \cdot 0{,}025}{0{,}60} = 0{,}333.$$

Товщина трубної дошки

$$S = 0{,}45 \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{\frac{1{,}4}{0{,}333 \cdot 140}} + 0{,}001 = 0{,}0468 + 0{,}001 = 0{,}0469 \text{ м}.$$

Приймаємо S = 0,050 м.

Визначаємо зовнішню товщину дошки

$$S_1 = 0{,}36 \cdot 0{,}60 \cdot \sqrt{1{,}4/140} + 0{,}001 = 0{,}0216 + 0{,}001 = 0{,}0217 \text{ м}.$$

Приймаємо S_1= 0,025 м.

2.6. РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАТОРІВ

У теплообмінній і холодильній апаратурі застосовують два типи компенсаторів: гнучкі та сальникові. Гнучкі компенсатори виконуються в вигляді лінз, сильфонів.

Необхідність застосування компенсатора встановлюється розрахунком. Наприклад, у теплообмінниках визначають силу, що виникає внаслідок температурних напруг, за формулою

$$P_t = [\alpha_к \cdot (t_k - 20) - \alpha_T \cdot (t_T - 20)] \cdot [1/(E_к \cdot F_к)] \cdot [1/(E_к \cdot F_к) - 1/(E_т \cdot F_т)], \quad (2.48)$$

де t_k і t_T — середні температури корпусу та труб, °С; $\alpha_к$ і $\alpha_т$ — коефіцієнти лінійного розширення матеріалів корпусу й труб,

1/град (для вуглецевих сталей $\alpha = 11{,}9 \cdot 10^{-6}$ 1/°С, для сталі 12ХІ8Н10Т $\alpha = 16{,}6 \cdot 10^{-6}$ 1/°С); $E_к$ і $E_т$ — модулі пружності матеріалів корпусу й труб, МПа; $F_к$ і $F_т$ — площі поперечного перетину стінок корпусу й труб, $м^2$.

Враховується й сила, обумовлена тиском робочих середовищ у трубах і міжтрубному просторі

$$P = 0{,}785 \cdot [(D_н^2 - d_н^2 \cdot Z) \cdot P_м + d_в^2 \cdot Z \cdot P_т. \qquad (2.49)$$

де $d_в$ — внутрішній діаметр труб, м.

Компенсатори треба застосовувати, якщо сумарні напруженості в корпусі $\sigma_к$ та трубах $\sigma_т$ будуть більше допустимих напруженостей.

Сумарні напруженості в корпусі

$$\sigma_к = P_t / F_k = P \cdot E_E / (E_к \cdot F_к + E_т \cdot F_т). \qquad (2.50)$$

Сумарні напруженості в трубах

$$\sigma_к = P_t / F_t \pm P \cdot E_т / (E_к \cdot F_к + E_т \cdot F_т). \qquad (2.51)$$

де знак (–) відповідає випадку, коли $t_к > t_т$ а знак (+) — $t_к < t_т$.

Потрібна осьова сила закріплення труб у трубних дошках

$$P_т = 0{,}785 \cdot (d_Н^2 - d_{в\,Н}) \cdot \sigma_т. \qquad (2.52)$$

Приклад 4. Встановити необхідність застосування компенсатора в теплообміннику з нерухомими трубними дошками та такими параметрами: $D_Н = 0{,}6$ м; $S_К = 0{,}005$ м; $d_н = 25?2$ мм; $n = 238$; $P_т = 0{,}5$ МПа; $P_м = 1{,}0$ МПа; $t_Т = 65$ °С; $t_к = 160$ °С; $C = 0{,}001$ м; корпус і труби виготовлені з вуглецевої сталі ($\sigma_т^к = 240$ МПа; $\sigma_т^{тр} = 250$ МПа; $[\sigma_к] = 130$ МПа; $[\sigma_Т] = 136$ МПа; $E_к = 1{,}84 \cdot 10^5$ МПа; $E_Т = 1{,}94 \cdot 10^5$ МПа; $\alpha_т = \alpha_к = 11{,}0 \cdot 10^{-6}$ 1/град.

Площа поперечного перетину стінки корпуса:

при номінальній товщині $S_К$

$$F_к = \pi \cdot D_Н \cdot S_К = 3{,}14 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}05 = 94{,}4 \cdot 10^{-4}\ м^2,$$

при товщині стінки за відрахуванням прибавки на корозію

$$F_{KI} = 3{,}14 \cdot 0{,}6 - (0{,}005 - 0{,}001) = 75{,}3 \cdot 10^{-4}\ м^2.$$

Поперечний перетин труб:

при номінальній товщині стінки $S_Т = 0{,}002$ м

$$F_Т = \pi \cdot (d_Н - s_Т) \cdot s_Т \cdot n = 3{,}14 \cdot (0{,}025 - 0{,}002) \cdot 0{,}002 \cdot 238 = 0{,}0344\ м^2;$$

при товщині стінки труб з урахуванням корозії

$$F_{TI} = \pi \cdot (d_Н - s_Т + 2 \cdot C) \cdot (s_Т - C) \cdot n = 3{,}14 \cdot (0{,}025 - 0{,}002 + 2 \cdot 0{,}001) \ ?$$
$$? \ (0{,}002 - 0{,}001) \cdot 238 = 0{,}0187\ м^2.$$

Находимо чинні сили

$$P_t = [11{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot \{(165 - 20) - (65 - 20)\}] / [1/(1{,}84 \cdot 10^5 \cdot 94{,}4 \cdot 10^{-4}) +$$
$$+ 1 / (I{,}94 \cdot 10^5 \cdot 0{,}0344)] = 1{,}46\ Мн;$$

$$P_{T1} = [11{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot \{(165 - 20) - (65 - 20)\}] / [1/(1{,}84 \cdot 10^5 \cdot 75{,}3 \cdot 10^{-4}) +$$
$$+ 1/(1{,}94 \cdot 10^5 \cdot 0{,}0187)] = 11{,}0 \cdot 10^{-4} / [7{,}2 \cdot 10^{-4} + 2{,}76 \cdot 10^{-4}] = 1{,}10\ Мн;$$

$$P = 0{,}785 \cdot [(0{,}62 - 0{,}025^2 \cdot 238) \cdot 1{,}0 + 0{,}021^2 \cdot 238 \cdot 0{,}5] = 0{,}785 \cdot [(0{,}36 -$$
$$- 0{,}15) \cdot 1{,}0 + 0{,}052] = 0{,}785 \cdot 0{,}262 = 0{,}206\ Мн.$$

Напруженість в металі корпусу

$$\sigma_к = 1{,}46 / (94{,}4 \cdot 10^{-4}) - 0{,}206 \cdot 1{,}84 \cdot 10^5 / (1{,}84 \cdot 10^5 \cdot 94{,}4 \cdot 10^{-4} +$$
$$+ 1{,}94 \cdot 10^5 \cdot 0{,}0344) = 154{,}7 - 0{,}379 \cdot 10^5 / (1736{,}96 + 6673{,}6) =$$
$$= 154{,}7 - 37900 / 8410{,}56 = 150{,}2\ МПа.$$

Тому що $[\sigma_к] = 130$ МПа, то $\sigma_к > [\sigma_к]$, отже, застосування компенсатора на даному теплообміннику необхідно.

2.7. Розрахунок барабанних апаратів

Барабанні апарати застосовують у якості сушарок, нагрівальних печей, кристалізаторів, холодильників.

У барабанних апаратах розраховують на механічну міцність і жорсткість конструкцій корпус барабану, бандажі, опорні ролики та електропривідну систему.

Діаметр, довжину і товщину стінки вибирають за нормалями.

Відома емпірична формула, що зв'язує товщину стінки барабана з його діаметром,

$$S = (0{,}007 \div 0{,}01) \cdot D. \qquad (2.53)$$

Барабан можна уявити як балку з рівномірним навантаженням розташовану на двох або декількох опорах (рис. 2.4).

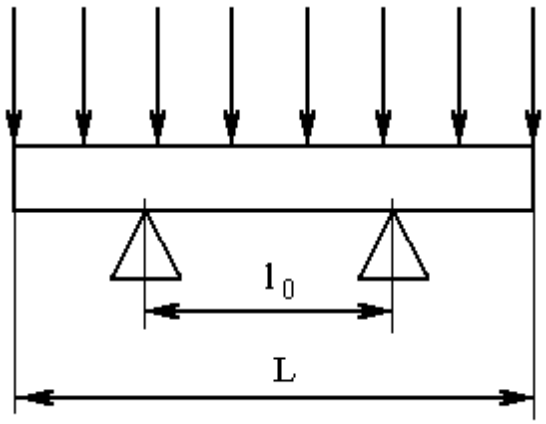


Рис. 2.4. Розрахункова схема дії навантажень на барабанний апарат

Приймають, що на опори барабану діє рівномірно розподілене навантаження від маси самого барабану та маси речовини, яка в ньому переробляється

$$q = (G_б + G_В)/L. \qquad (2.54)$$

Оптимальна відстань між опорами визначається з рівняння

$$l_o = 0{,}585 \cdot L. \qquad (2.55)$$

Найбільший вигинаючий момент припадає на середину довжини барабану

$$M_и = (G_б + G_В) \cdot l_o / 4 - qL^2/8 \qquad (2.56)$$

На барабан діє скручуючий момент від приводу, Мн·м

$$M_{кр} = N / (2 \cdot \pi \cdot n) \cdot 10^{-3}, \qquad (2.57)$$

де N — потужність приводу, кВт; n — частота обертання барабана, 1/с.

Приведений момент

$$M_п = 0{,}35 \cdot M_и + 0{,}65 \cdot \sqrt{M_и^2 + M_{кр}^2}\,. \qquad (2.58)$$

Напруженість вигину

$$\sigma_и = M_п / W, \qquad (2.59)$$

де W — момент опору,

$$W = 0{,}785 \cdot D^2 \cdot S. \qquad (2.60)$$

Розрахункова товщина стінки барабану

$$S = M_п / (0{,}785 \cdot D^2 [\sigma_и]) + C, \qquad (2.61)$$

де $[\sigma_и]$ — допустима напруженість вигину.

Рекомендовано приймати для сушарок $[\sigma_и]$ = 5...10 МПа, для барабанних печей 20 МПа [9].

Барабан перевіряють на прогин за формулою

$$f \le 0{,}00031 \cdot l_o, \qquad (2.62)$$

причому

$$f = 5 \cdot q \cdot l_o^4 / (384 \cdot E \cdot I), \qquad (2.63)$$

де I — осьовий момент інерції, $м^4$.

$$I = \pi \cdot (D_H - S)^3 \cdot S/8 \qquad (2.64)$$

Ширину бандажу визначають за формулою

$$b_б = R/q_к, \qquad (2.65)$$

де $q_к$ = (1,0...2,4) Мн/м; R — реакція опорного ролика, Мн.

Реакцію опори визначають за формулою

$$R = (G_C + G_м) \cdot \cos \alpha / (2Z \cdot \cos(\varphi/2), \qquad (2.66)$$

де α — кут нахилу барабану (приймають рівним 2...4 град); φ — кут між опорними роликами ($\varphi = 60°$); Z — число бандажів на барабані.

Ширину опорного ролика приймають на 30 мм більшою ширини бандажа.

Діаметр опорного ролика в 3...4 рази менше зовнішнього діаметра бандажа.

Бандаж необхідно перевірити на контактну міцність у місцях зіткнення з опорними роликами

$$[\sigma_c] \ge 0{,}0418 \cdot [R \cdot E (r_б + r_o) / (b_б \cdot r_б \cdot r_o]^{1/2}, \qquad (2.67)$$

де $[\sigma_o]$ — допустима напруженість на зім'яття (для сталевого лиття 300...500 МПа; для чавуну 350 МПа); $r_б$ і r_o — зовнішні радіуси бандажа й опорного ролика, м.

Опорні ролики сприймають осьову силу

$$T = (G_б + G_м) \cdot \sin\alpha. \qquad (2.68)$$

Їх також перевіряють на зім'яття. Для конічного ролика допустима напруженість на зім'яття

$$[\sigma_с] = 0{,}0418 \cdot [T \cdot E / b_у \cdot r_б \cdot \sin(\gamma/2)]^{l/2}, \qquad (2.69)$$

де γ — кут конусності опорного ролика, γ = 17 град; $b_у$ — ширина опорного ролика.

Розраховують міцність бандажа на вигин

$$[\sigma_и] > M_б/W_б, \qquad (2.70)$$

де $M_б$ — вигинаючий момент бандажа, Мн·м; $W_б$ — момент опору перетину бандажа, $м^3$.

$$M_б = R \cdot l/4, \qquad (2.71)$$

де l — відстань між сусідніми башмаками, м.

$$l = \pi \cdot D_б / m, \qquad (2.72)$$

де m — число башмаків

$$W_б = b_б \cdot h_б^2/6 \qquad (2.73)$$

де $h_б$ — висота бандажа, м.

Приклад 5. Виконати механічний розрахунок сушильного барабану, що має діаметр D = 2,8 м, довжину L = 12 м; частоту обертання n = 0,0833 1/с; масу 65 т. Матеріал стінки — вуглецева сталь. Щільність речовини, що висушується, $\rho_в$ = 1300 $кг/м^3$;

ступінь заповнення барабану β = 0,13. Потужність приводу N = 20,6 кВт.

Виберемо товщину стінки барабана S = 14 мм і перевіримо міцність барабана на вигин і прогин.

Сила, що виникає від дії ваги речовини, що висушується,

$$G_M = 0{,}785 \cdot 2{,}8^2 \cdot 12 \cdot 0{,}13 \cdot 1300 \cdot 9{,}81 = 122439 \text{ н} = 0{,}12 \text{ Мн}.$$

Сила ваги порожнього барабана

$$G_c = 65 \cdot 9{,}81 / 1000 = 637650 \text{ н} = 0{,}64 \text{ Мн}.$$

Відстань між опорами

$$l_o = 0{,}585 \cdot 12 = 7{,}02 \text{м}.$$

Вигинаючий момент

$$M = (0{,}64 + 0{,}122) - 7{,}02 / 4 - (0{,}64 + 0{,}12) \cdot 12^2 / (12 \cdot 8) = \\ = 1{,}33 - 1{,}14 = 0{,}19 \text{ Мн·м}.$$

Скручуючий момент

$$M_{KP} = 20{,}6 \cdot 10^{-3} / (2 \cdot 3{,}14 - 0{,}0833) = 0{,}039 \text{ Мн·м}.$$

Приведений момент

$$M_p = 0{,}35 \cdot 0{,}19 + 0{,}65 \cdot (0{,}19^2 + 0{,}039^2)^{1/2} = \\ = 0{,}0665 + 0{,}65 \cdot (0{,}0361 + 0{,}0015)^{1/2} = 0{,}193 \text{ Мн·м}.$$

Момент опору корпусу барабана

$$W = 0{,}785 \cdot 2{,}8^2 - 0{,}014 = 0{,}086 \text{ м}^3.$$

Напруженість вигину

$$\sigma_и = 0,193/0,086 = 2,24 \text{ МПа}.$$

Тому що $[\sigma]_и = 5...10 > \sigma_и$, то можна вважати, що міцність барабану на вигин забезпечується.

Осьовий момент інерції кільцевого перетину барабану

$$J = 3,14 \cdot (2,8^4 – 0,014^4) / 64 = 0,12 \text{ м}^4.$$

Приймемо для вуглецевої сталі $E = 1,94 \cdot 10^5$ МПа.

Рівномірно розподілене навантаження

$$q = (0,64 + 0,12) / 12 = 0,063 \text{ Мн/м}.$$

Прогин барабану

$$f = 5 \cdot 0,063 \cdot 7,02^4 / (384 \cdot 1,94 \cdot 10^5 \cdot 0,12) = 0,86 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Допустимий прогин

$$[f] = 0,0003 \cdot 7,02 = 21,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Очевидно, що прогин барабана не перевищує допустимої межі.

2.8. Розрахунок валів мішалок

Мішалки широко поширені в хімічній технології.

При розрахунку мішалок швидкість обертання валу повинна прийматися не більше критичної

$\omega \le 0,7 \cdot \omega_1$ для середовища з $\mu_c \le 0,3$ Па·с і $\rho_c \le 1500$ кг/м^3,

$\omega < 0,6 \cdot \omega_1$ для середовища з $\mu_c > 0,3$ Па·с і $\rho_c \ge 1500$ кг/м^3, причому

$$\omega_1 = (\alpha/L)^2 (E \cdot J/m)^{1/2}, \qquad (2.74)$$

де ω_1 — критична резонансна швидкість обертання валу, 1/с; J — момент інерції поперечного перетину валу, м; m — маса одиниці довжини валу, кг/м; α — корінь частотного рівняння, що визначається графічно.

При цьому приймаються такі обмеження: одиночний радіальний кульковий підшипник є шарнірною опорою; у підшипниках редуктора вал закріплений жорстко; нижній кінцевий підшипник ковзання вважається жорсткою опорою, якщо довжина вихідного кінця валу більше його двох діаметрів.

Приклад визначення частотного кореня показаний на рис. 2.5, де зазначена і кінематична схема валу.

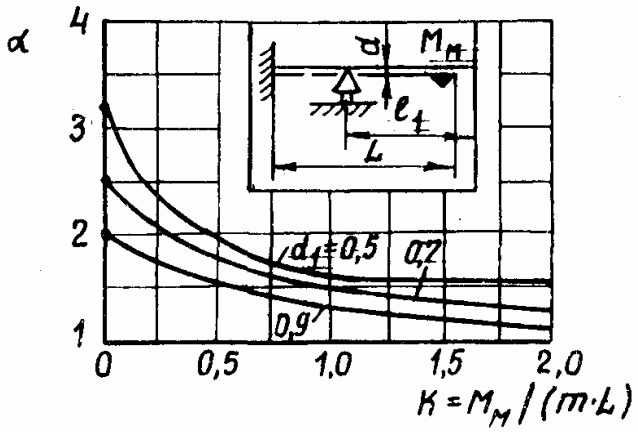


Рис. 2.5. Залежність кореня частотного рівняння від розмірів валу

Вихідними даними при розрахунку валу мішалки є потужність приводу, довжина валу, частота обертання, розміри лопастей, к.к.д. редуктора. Скручуючий момент на валу

$$M_{кр} = N/\omega. \qquad (2.75)$$

Діаметр валу з умови міцності на скручування

$$d = 1{,}71 \cdot \sqrt[3]{M_{кр} / [\tau]}\ , \qquad (2.76)$$

де $[\tau]$ — допустима напруженість на скручування, для сталі $44 \cdot 10^6$ н/м^2 (44 МПа).

Маса одиниці довжини валу

$$m = \pi \cdot d^2 \cdot \rho/4. \qquad (2.77)$$

Для однопролітного валу

$$\omega_1 = (\alpha/L)^2 \cdot (E \cdot J \cdot (m+m')^{1/2} . \qquad (2.78)$$

Тут m' — додаткова складова маси, яка визначається так:

а) якщо вал закріплений шарнірно на обох кінцях, то

$$m' = (2/L) \sum_{i=1}^{n} M_i \cdot \sin^2(\pi l_i / L), \ \alpha = 3{,}142;$$

б) якщо вал жорстко закріплений на обох кінцях, то

$$m' = (0{,}9658/L) \cdot \sum_{i=1}^{n} M_i \cdot x_1^2(l_i / L), \alpha = 4{,}73;$$

в) якщо вал вільно закріплений на однім кінці і жорстко — на іншому, то

$$m' = (2{,}0016/L) \cdot \sum_{i=1}^{n} M_i \cdot x_2^2(l_1' / L), \alpha = 3{,}927;$$

тут l_i — відстань маси M_i від однієї з опор; l_i' — відстань маси M_i від вільно закріпленого кінця.

Функції $\sin(\pi l_i/L)$, $X_1(l_i/L)$ і $X_2(l_i'/L)$ показані графічно (рис. 2.6). Для закріплення вала за схемою "а" із n рівними зосередженими масами $M_i = M$, поділяючими вал на n+1 рівних частин довжиною L/(n+l), значення m' буде визначатися з рівняння

$$m' = M(n+l)/L. \qquad (2.79)$$

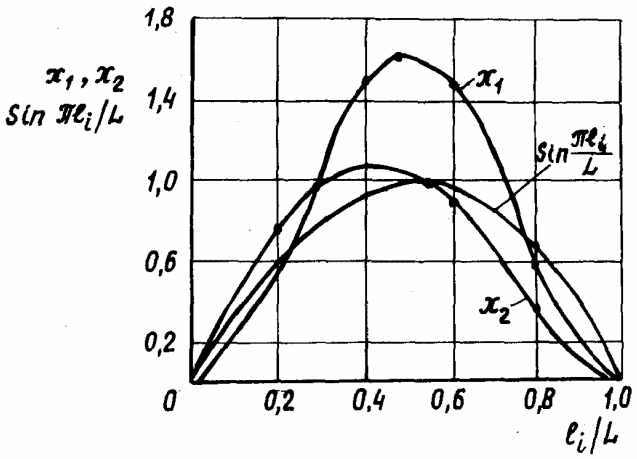


Рис. 2.6. Геометричні функції для розрахунку рівномірно розподіленої маси

Якщо масою самого валу можна знехтувати, а враховувати тільки зосереджені навантаження (M_i = M), які знаходяться на рівних відстанях одне від іншого, то критичну швидкість можна визначити за такою формулою:

$$\omega = \sqrt{\frac{12(n+1)^3}{2+\cos\pi/(n+1)}(1-\cos\pi)(n+1)^2 \cdot EJ/\left(M'\cdot L^3\right)}, \quad (2.80)$$

де M' — сумарна маса.

$$\mathbf{M' = M + (2/3)\cdot m\cdot L/n,} \quad \mathbf{(2.90)}$$

де m — маса одиниці довжини валу.

Якщо на валу є ексцентричні сили, то вал необхідно додатково перевірити на вигин і жорсткість з урахуванням цих сил.

Приклад 6. Зробити перевірочний розрахунок на міцність сталевого валу роторно-дискового екстрактора. Вихідні дані: довжина вала L = 8,0 м; число дисків на валу n = 19; товщина дисків 5 мм; діаметр дисків 0,8 м; потужність приводу N = 0,25 кВт; частота обертання вала 0,6 об/с.

Знаходимо відстань між сусідніми дисками

$$l_i = L/(n+l) = 8,0/(19 + 1) = 0,4 \text{ м}.$$

Скручуючий момент,

$$M_{кр} = 250/(2\cdot 3,14 \cdot 0,6) = 66,3 \text{ н·м}.$$

Діаметр валу

$$d = 1,71 \cdot (66,3/(44\cdot 10^6)^{1/3} = 0,020 \text{ м}.$$

Маса одиниці довжини валу

$$m = 0,785\cdot (0,020)^2\cdot 7850 = 2,46 \text{ кг/м}.$$

Маса одного диска

$$M = 0,785\cdot 0,82\cdot 0,005\cdot 7850 = 19,72 \text{ кг}.$$

Додаткова складова маси дисків

$$m' = 19,72\cdot 20/8,01 = 49,3 \text{ кг/м}.$$

Момент інерції валу

$$I = 3,14\cdot (0,02)^4/64 = 0,785\cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Приймемо $E = 2,0\cdot 10^{11}$ н/м^2, $\alpha = 3,142$. Тоді

$$\omega = (3,142/8,0)^2\cdot (2\cdot 10^{11}\cdot 63,6\cdot 10^{-8}/(22,2 + 49,3) = 0,848 \text{ рад/с}.$$

Критична частота обертання вала буде рівною

$$n_{кр} = 0,848/(2\cdot 3,14) = 0,135 \text{ об/с}.$$

Тому що задана частота обертання вала більше критичної, то необхідно збільшити діаметр валу.

Приймаємо діаметр валу d = 0,06 м.
Маса одиниці довжини валу

$$m = 0{,}785 \cdot (0{,}06)^2 \cdot 7850 = 22{,}2 \text{ кг/м}.$$

Момент інерції валу

$$J = 3{,}14 \cdot (0{,}06)^4/64 = 63{,}6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Критична швидкість валу

$$\omega_1 = (3{,}14/8{,}0)^2 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{11} \cdot 63{,}6 \cdot 10^{-8} /(22{,}2 + 49{,}3)} = 6{,}50 \text{ рад/с}.$$

Критична частота обертання валу

$$n_{кр} = 6{,}50/(2 \cdot 3{,}14) = 1{,}03 \text{ 1/с}.$$

Умова вібростійкості валу дотримується

$$0{,}6/1{,}03 = 0{,}583 < 0{,}7.$$

Якщо прийняти порожнистий вал із $d_Н$ = 60×4 мм, то його маса на одиницю довжини

$$m = 0{,}785 \cdot (0{,}060^2 - 0{,}052^2) \cdot 7850 = 5{,}52 \text{ кг/м}.$$

Момент інерції

$$J = 3{,}14 \cdot (0{,}060^4 - 0{,}004^4)/64 = 27{,}6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Критична швидкість

$$\omega_1 = 0{,}154 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{11} \cdot 27{,}6 \cdot 10^{-8} /(5{,}52 + 49{,}3)} = 4{,}89 \text{ рад/с}.$$

Критична частота обертання валу

$$n_{кр} = 4,89/(2\cdot 3,14) = 0,78 \text{ об/с}.$$

Допустимий скручуючий момент,

$$[M_{кр}] = 1,6\cdot (d - S)2\cdot S\cdot [\tau].$$

$$[M_{кр}] = 1,6\cdot (0,060 - 0,004)^2\cdot 0,004\cdot 44\cdot 10^6 = 883 \text{ н·м}.$$

Очевидно, що $M_{кр} = 66,3$ н·м ≤ [Мкр] = 883 н·м.

Отже, прийняті розміри порожнистого валу забезпечують його вібростійкість.

2.9. Розрахунок колонних апаратів на вітрове навантаження

Розрахунку підлягають апарати, установлювані на відкритих майданчиках. Ціль розрахунку полягає в тому, щоб перевірити апарат на міцність і стійкість, а також визначити розміри опори і фундаментних болтів. Якщо H/D ≥ 15, то апарат приймають за консольний стрижень із жорстким кріпленням до фундаменту.

При H/D < 15 — за пружно защемлений стрижень.

По висоті апарат умовно поділяють на ділянки протяжністю не більш 10 м. Сила ваги ділянки і сили вітру приймаються зосередженими в центрі ділянки.

Нормативний швидкісний напір вітру для України приймається

$$q_o = 0,035\cdot 10^{-2} \text{ МПа [9]}.$$

Для висот більш 10 м швидкісний напір визначають за формулою

$$q_i = q_o\cdot \theta_i, \qquad (2.91)$$

де θ_i — коефіцієнт, котрий визначають з рис. 2.7.

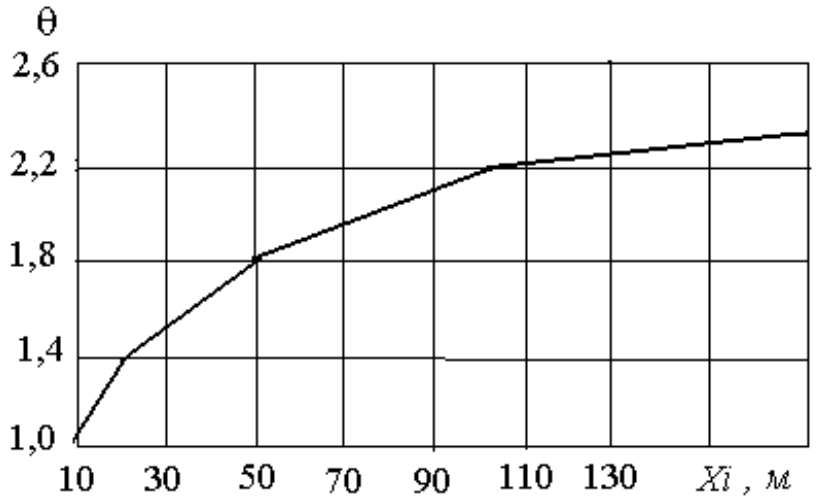


Рис. 2.7. Залежність поправочного коефіцієнта θ_i від збільшення швидкісного натиску вітру для висот більше за 10 м

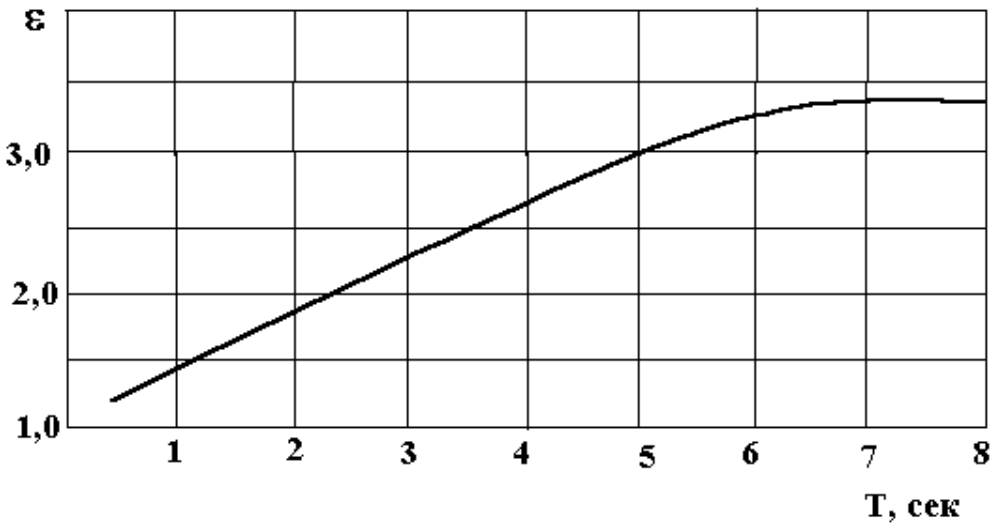


Рис. 2.8. Залежність коефіцієнта динамічності від періоду власних коливань апарату

З урахуванням поривів вітру, співпадаючих із власною частотою коливань апарата, вводять коефіцієнт збільшення швидкісного напору

$$\beta_i = 1+\varepsilon \cdot m_i \,, \qquad (2.92)$$

де ε — коефіцієнт динамічності (рис. 2.8); m_i — коефіцієнт пульсації (рис. 2.9).

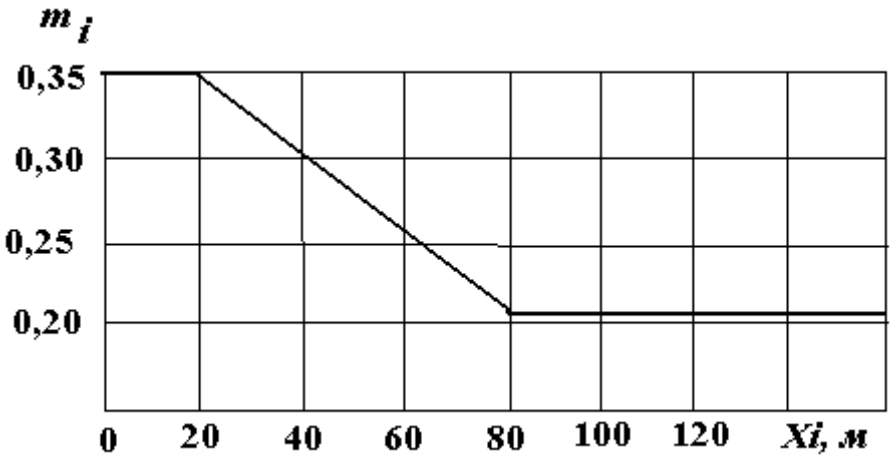


Рис. 2.9. Залежність коефіцієнта пульсації швидкісного напору m_i від висоти апарату

Власна частота коливань T для апарату постійного перетину:

при H/D ≥ 15

$$T = 1{,}79 \cdot H \cdot [(H/E^t \cdot J \cdot g)]^{1/2} ; \qquad (2.93)$$

при H/D < 15

$$T = 1{,}79 \cdot H \cdot [(H/E^t + 4\varphi_0) \cdot G/g)]^{1/2} . \qquad (2.94)$$

Для апаратів перемінного перетину:

при H/D ≥ 15

$$T = 4{,}45 \cdot J \cdot \Sigma G_i \cdot x_i^4 / J \cdot g \cdot H \cdot E^t)]^{1/2}; \qquad (2.95)$$

при H/D < 15

$$T = 6{,}28 \cdot H \cdot [\sum_{i=1}^{n} G_i \cdot K_i^2 / (H \cdot g/(3 \cdot E^t \cdot J) + \varphi_o \cdot g)]^{1/2} , \qquad (2.96)$$

де H — висота апарату, м; D — діаметр апарату без ізоляції, м; E^t — модуль пружності матеріалу корпусу апарата при робочій температурі, МПа; J — момент інерції верхнього поперечного перетину корпусу апарата щодо центральної осі, $м^4$; G — сила ваги апарата, Мн; G_i — сила ваги і-ї ділянки апарата, Мн; x_i — відстань і-ї ділянки до опори апарата, м; K_i — відносне переміщення центрів ваги ділянок 1/(Мн·м); φ_o — кут повороту опорного перетину, 1/(Мн·м); j — коефіцієнт, визначений за рис. 2.10

$$K_i = H \cdot A_i / (3 \cdot E^t \cdot j) + \varphi_o \cdot \varphi_i, \qquad (2.97)$$

де A_i — параметр, визначений за рис. 2.11

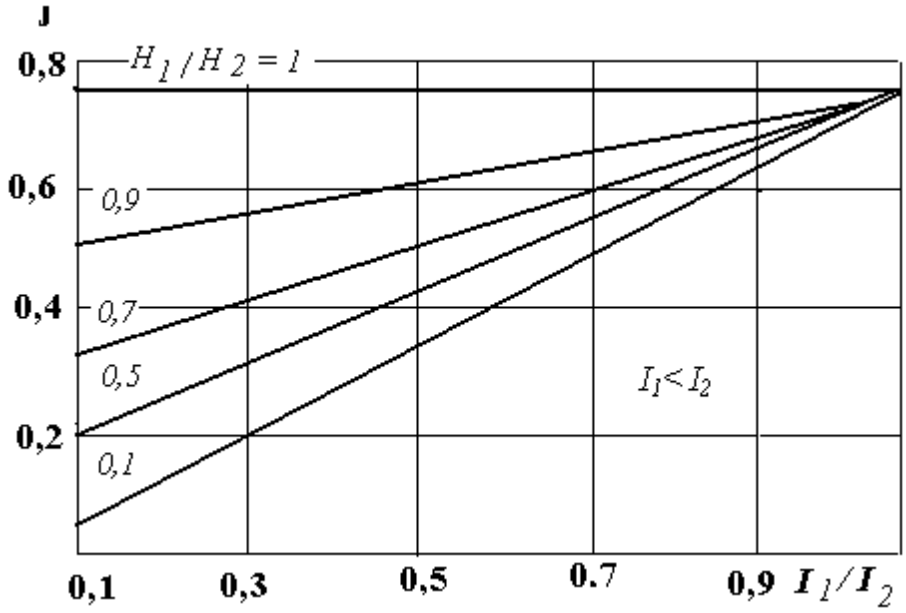


Рис. 2.10. Залежність коефіцієнта j від співвідношення моментів інерції сусідніх ділянок апарата

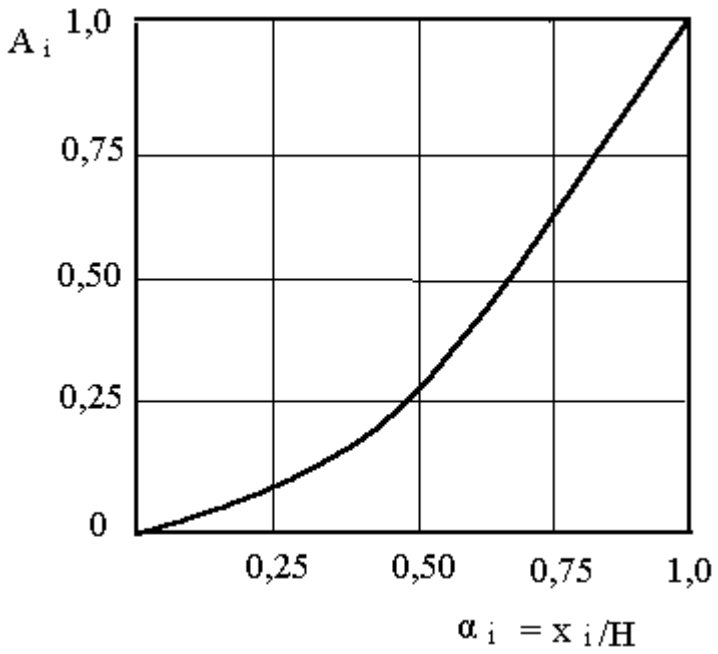


Рис. 2.11. Графік для визначення параметра A_i

Відносні координати центрів ваги ділянок:

$$\alpha_i = x_i/H; \tag{2.98}$$

$$\varphi_o = 1/(C_ф \cdot I_ф), \tag{2.99}$$

де $C_ф$ — коефіцієнт нерівномірного стиснення грунту, $C_ф \approx 50$ Мн/м^3 для грунту середньої щільності; $I_ф$ — момент інерції підошви фундаменту, м^4.

Наближено

$$I_ф = 1{,}3 \cdot I_к \tag{2.100}$$

де $I_к$ — момент інерції фундаментного кільця, м^4.

Сила P_i, Мн, що діє на і-у ділянку циліндричного апарата від вітру,

$$P_i = 0{,}6 \cdot \beta_i \cdot q_i \cdot D_i \cdot h_i, \tag{2.101}$$

де D_i — зовнішній діаметр і-ї ділянки з урахуванням ізоляції, м; h_i — висота і-ї ділянки, м.

Вигинаючий момент від вітрового напору відносно опори апарата, Мн·м,

$$M_B = \sum_{i=1}^{n-n_0} P_i \cdot x_i , \qquad (2.102)$$

де x_i — відстань і-ї ділянки від опори апарата, м; n_o — кількість ділянок, розташованих нижче перетину x_o.

Для апаратів, що мають обслуговуючі площадки, вигинаючий момент визначають як

$$M_{вп} = M_в + \sum_{i=1}^{n} M_{bn_i} , \qquad (2.103)$$

де M_{bn_i} — вигинаючий момент і-ї площадки, Мн·м.

$$M_{bn_i} = l{,}4 \cdot \beta_i \cdot q_i \cdot x_{n\,i} \cdot \sum_{i=1}^{n} F_{n_i} , \qquad (2.104)$$

де $\sum_{i=1}^{n} F_{n_i}$ — сума проекцій елементів площадки на вертикальну площину, $м^2$; x_{n_i} — відстань від низу і-ї площадки до опори апарата, м.

Далі роблять перевірку корпусу апарата на міцність та стійкість з урахуванням тиску робочого середовища, осьової стискуючої сили й вигинаючого моменту.

Для апаратів, що працюють під зовнішнім тиском, умова стійкості

$$\sigma_c / [\sigma_{cd}] + \sigma_и / [\sigma_{иd}] + F_н / [P_{нd}] < 1, \qquad (2.105)$$

де σ_c, $\sigma_и$ — напруженості стиснення та вигину, МПа; $[\sigma_{cd}]$, $[\sigma_{иd}]$ — допустимі напруженості на стиснення та вигин, МПа; $P_Н$ — зовнішній тиск, МПа; $[P_{нd}]$ — допустимий тиск, МПа.

Напруженість стиснення

$$\sigma_c = P/ [\pi \cdot (D_B + S) \cdot (S - C_к)], \qquad (2.106)$$

де P — розрахункова осьова стискуюча сила, Мн.

Напруженість вигину в обичайці

$$\sigma_и = M_и/W = 4 \cdot M_и/[\pi \cdot (D_в + S)^2 \cdot (S - C_к)], \qquad (2.107)$$

де $M_и$ — у даному випадку вигинаючий момент від дії вітрового напору, Мн·м.

Для апаратів, що працюють під внутрішнім надлишковим тиском, умова стійкості

$$\sigma_э = \sqrt{(\sigma + 0{,}8\sigma_и)^2 + 3\tau^2} \le 0{,}87 \cdot \sigma_d \sqrt{1{,}2 - (\sigma_п / [\sigma_d])^2}, \qquad (2.108)$$

де σ — напруженість розтягуваня або стиснення в обичайці від зовнішньої осьової сили, МПа; $\sigma_п$ — приведена напруженість від внутрішнього тиску, МПа; $[\sigma_d]$ — допустима напруженість на стиснення або розтягування, МПа.

$$\sigma_п = P \cdot [D_в + (S - C_к)]/[2 \cdot \varphi \cdot (S - C_к)]. \qquad (2.109)$$

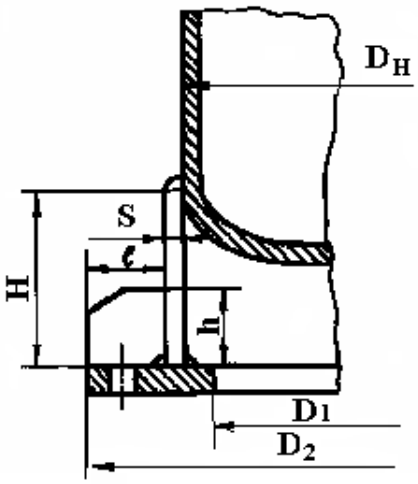
Відомо 9 основних типів опор для вертикальних циліндричних апаратів. Опори можуть бути приварні або литі. Деякі опори та їхні елементи нормалізовані [13, 26].

Товщина стінки опори приймається приблизно рівною товщині стінки апарата, але не менше 6...8 мм. Потім проводиться її перевірка на міцність і стійкість. Перевіряється на міцність зварний шов, що з'єднує опору з апаратом. І, врешті, визначаються розміри опорного кільця.

Як приклад на рис. 2.12 показана опора у вигляді циліндричної обичайки, верхня частина якої приварена до апарата, а нижня частина — до фундаментного кільця з ребрами жорсткості (лапами).

Розрахунок опор апаратів, розташованих на відкритих майданчиках, роблять із урахуванням вітрового і сейсмічного навантаженнь.

Товщину циліндричної опори визначають із наступної формули:



$$S = 2{,}24 \cdot G/ (K \cdot n \cdot 1 \cdot [\sigma] \cdot \varphi) + C, \quad (2.110)$$

де G — максимальна маса апарата; n — число лап; l — ширина лапи; [σ] — допустима напруженість матеріалу опори;

$K \approx 0{,}6$ при $l/S = 14$; $K = 0{,}3$ при $l/S = 20$.

Рекомендується приймати $h = 2 \cdot l$.

Рис. 2.12. Опора колонного апарату

Враховують міцність зварних швів за рівнянням

$$0{,}7 \cdot L \cdot h_ш \cdot [\tau] \geq G/n, \quad (2.111)$$

де L — загальна протяжність зварних швів; $h_ш$ — висота зварного шва (приблизно h =0,008 м); [τ] — допустима напруженість зрізу (можна приймати орієнтовно 80 МПа).

Приклад 7. Визначити розміри опори для циліндричного апарату, який має G = 0,8 Мн. Приймемо число лап n = 8; ширину лапи l = 0,25 м. Висота лапи буде дорівнювати $h = 2 \cdot l = 2 \cdot 0{,}25 = 0{,}50$ м.

Товщину ребра лапи й опори визначаємо за формулою (2.110):

$$S = \frac{2{,}24 \cdot 0{,}8}{0{,}6 \cdot 8 \cdot 0{,}25 \cdot 100 \cdot 1} + 0{,}002 = 0{,}015 + 0{,}001 = 0{,}016 \text{ м}.$$

Загальна довжина зварного шва $l_ш = 4 \cdot (0{,}5 + 0{,}016) = 2{,}064$ м.

Перевіряємо міцність зварного шва

$$0{,}7 \cdot 2{,}064 \cdot 0{,}008 \cdot 80 = 0{,}924 \text{ Мн};$$
$$G/n = 0{,}8/8 = 0{,}100 \text{ Мн}.$$

Бачимо, що міцність зварного шва значно перевершує очікуване навантаження.

Товщину фундаментного кільця приймають не менше S.

Внутрішній діаметр опорного кільця, м:

$$D_2 = D - 0{,}006,$$

Зовнішній діаметр кільця, м:

$$D_1 = D + 2 \cdot S + 0{,}2. \qquad (2.112)$$

Розраховується опорна площа кільця:

$$F = \pi(D_1^2 - D_2^2)/4 \qquad (2.113)$$

і момент опору кільця

$$W = \pi \cdot (D_1^4 - D_2^4)/(32 \cdot D_1). \qquad (2.114)$$

Визначається максимальна напруженість стиснення на опорній поверхні кільця

$$\sigma_{max} = G_{max}/F + M_{BOmax}/W \le q_o, \qquad (2.115)$$

де G_{max} — максимальна сила ваги апарату при заповненні його водою, Мн; M_{BOmax} — вітровий момент, що відповідає максимальній силі ваги апарату, Мн·м.

Значення q_d приймають для бетонної поверхні фундаменту марки 300 23 МПа, марки 200 — 14 МПа. Для сталі і чавуну q_d = 200 МПа.

Якщо максимальна напруженість виявляється вище допустимої, то варто збільшити опорну поверхню фундаментного кільця та зробити перерахунок. Можливо застосування ребер жорсткості на опорі.

Визначаємо товщину опорного кільця

$$S_к = 1{,}73 \cdot l \cdot (\sigma_{max} / [\sigma_{ид}]), \qquad (2.116)$$

де l — відстань від виступаючої частини кільця до зовнішнього або внутрішнього діаметру опори, м.

Вибирають найбільший розмір. Мінімальне значення $S_К$ = 12 мм.

Провадиться перевірка стійкості апарата на перекидання під дією вітру.

Визначають напруженості на опорній поверхні кільця під дією сил ваги апарата за такими формулами:

$$\sigma = G_{min}/ F – M_{вomin} / W: \qquad (2.117)$$

$$\sigma = G_{max}/ F – M_{вomax} / W; \qquad (2.118)$$

Далі враховують найбільше за абсолютною величиною значення σ. Якщо σ > 0, то визначають коефіцієнт стійкості

$$К_у = 0{,}42 \cdot G \cdot D_1/M_{во}, \qquad (2.119)$$

де G і $M_{во}$ — відповідають найбільшому за абсолютною величиною значенню σ.

Якщо виявиться, що $К_у > 1,5$, то апарат буде стійким і ставити фундаментні болти не обов'язково. Достатньо поставити чотири центрувальних болти М 24.

Якщо $\sigma < 0$, то потрібно передбачити установку фундаментних болтів.

Навантаження на фундаментні болти

$$P_б^1 = 0,785 \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \sigma. \qquad (2.120)$$

Приймають число болтів Z не менше 4.

Навантаження на 1 болт

$$P_{б1}^1 = P_б^1 / Z. \qquad (2.121)$$

Діаметр болта

$$d_1^1 = \left[4P_{б1}^1 \left(\pi \cdot \sigma_g\right)\right]^{1/2} + c_к, \qquad (2.122)$$

де $С_к = 2$ мм — прибавка на корозію.

Діаметр болтового кола при $d_б \leq 30$ мм приймають рівним:

$$D_б = D + 2 \cdot S + 0,12м.$$

При $d_б > 30$ мм $D_б = D + 2 \cdot S + 4d_б$.

Якщо $d_о > 30$ мм, то зовнішній діаметр опорного кільця приймають як

$$D_1 = D_б + 3d_б. \qquad (2.123)$$

Приклад 8. Розрахунок апарату на вітрове навантаження. Вихідні дані: розміри апарату: $H = 30$ м; $h_1 = 10$ м; $h_2 = 10$ м; $h_3 = 10$ м; $H_о = 2$ м; $H_1 = 29$ м: $D_п = 4,5$ м; внутрішній діаметр $D_{в1} = 1,6$ м. Матеріал — низьколегована сталь з $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $[\sigma_{ид}] = 160$ МПа. Товщина стінки корпусу $S = 22$ мм. Прибавка на

корозію $C_к$ = 1 мм. Сила ваги: апарату G = 0,28 Мн; обслуговуючої площадки $G_п$ = 0,02 Мн; ізоляції $G_и$ = 0,07 Мн; рідини $G_ж$= 0,05 Мн; води в апараті при гідровипробуванні $G_В$ = 0,44 Мн. Зовнішній діаметр ізоляції $D_и$ = 1,98 м. Вітрова площа обслуговуючої площадки F = 3,5 м^2. Внутрішній діаметр опори $D_о$ = 1,6 м. Опора має лаз d = 0,5 м. Матеріал фундаментних болтів — сталь, [σ] = =230 МПа.

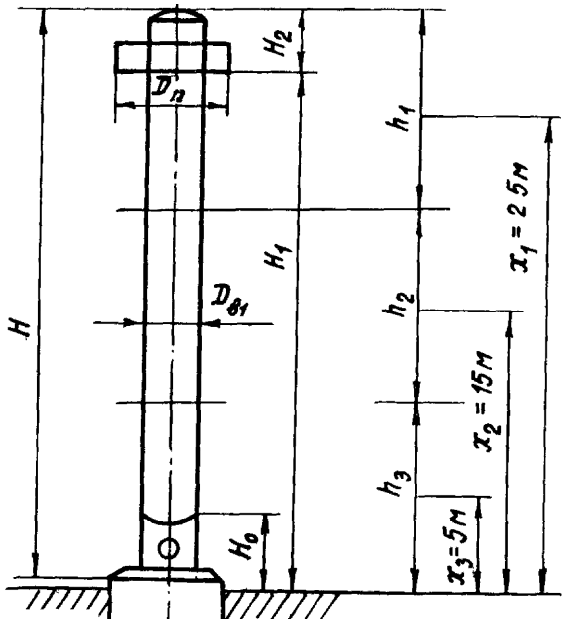


Рис. 2.13. До розрахунку апарату на вітрове навантаження

Схема апарата показана на рис. 2.13. Нормативний швидкісний напір

$q = 0{,}035 \cdot 10^{-2}$ МПа,

$G_{max} = G_1 + G_2 + G_3 = 0{,}29 + 0{,}26 + 0{,}26 = 0{,}81$ Мн;

$G_{min} = 0{,}093 + 0{,}093 + 0{,}093 = 0{,}28$ Мн.

Визначаємо розрахунковий діаметр апарату

$$D = \frac{2}{30^2}\left[D_и \cdot H_1 \cdot \frac{H_1}{2} + D_и H_2 \left(H_1 + \frac{H_2}{2} \right) \right] =$$

$$= \frac{2}{30^2}\left[1{,}98 \cdot 29 \cdot \frac{29}{2} + 1{,}98 \cdot 1 \cdot \left(29 + \frac{29}{2} \right) \right] = 1{,}98 \text{ м.}$$

Тому що H/D = 30/1,98 = 15,1 м > 15 м, то приймаємо апарат як консольний стрижень із жорстким закріпленням у фундаменті. Середній діаметр апарату

$$D_{ср} = D_{в1} + (S + C_к) = 1{,}6 + (0{,}022 - 0{,}001) = 1{,}621 \text{ м.}$$

Момент інерції поперечного перетину корпуса

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot d_{ср}^3 (S_1 - C_k) = \frac{3{,}14}{8} \cdot 1{,}621^3 \cdot 0{,}021 = 0{,}0352 \text{ м}^4$$

Коефіцієнт j для апарату знаходимо із рис. 2.10 за умови $J_1/J_2 = 1{,}0$; $H_1/H = 1$; $j = 0{,}667$.

Період власних коливань апарату

$$T = 4{,}45 \cdot \sqrt{I\left(G_1 \cdot x_1^4 + G_2 . x_2^4 + G_3 \cdot x_3^4\right) / \left(I \cdot g \cdot H \cdot E^t\right)}.$$

При мінімальній силі ваги

$$T = 4{,}45 \sqrt{\frac{0{,}667 \cdot \left(0{,}093 \cdot 25^4 + 0{,}093 \cdot 15^4 + 0{,}093 \cdot 5^4\right)}{0{,}0352 \cdot 9{,}81 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 10^5}} = 0{,}512 \text{ с.}$$

При максимальній силі ваги

$$T = 4{,}45\sqrt{\frac{0{,}667\cdot\left(0{,}29\cdot 25^4 + 0{,}26\cdot 15^4 + 0{,}26\cdot 5^4\right)}{0{,}0352\cdot 9{,}81\cdot 30\cdot 2\cdot 10^5}} = 0{,}898 \text{ с.}$$

Поправочний коефіцієнт до нормативного швидкісного напору для ділянок апарата з висотою H > 10 м визначаємо із (рис. 2.7) θ = 1,55. Розрахунковий напір для ділянок апарату

$$q_1 = q_2 = \theta \cdot q = 1{,}55 \cdot 0{,}035\cdot 10^{-2} = 0{,}0542 \cdot 10^{-2} \text{ МПа;}$$

$$q_3 = 0{,}035\cdot 10^{-2} \text{ МПа.}$$

Знаходимо коефіцієнт динамічності за рис. 2.8 для

$$T = 0{,}512 \text{ с } \varepsilon = 1{,}2;\ T = 0{,}898 \text{ с } \varepsilon = 1{,}5.$$

Знаходимо коефіцієнт пульсації швидкісного напору за рис. 2.9 для ділянок 1,2 і 3 m = 0,35.

Коефіцієнт збільшення швидкісного напору

$$\beta_i = 1 + \varepsilon \cdot m_i$$

При максимальній силі ваги

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1 + 1{,}5 \cdot 0{,}35 = 1{,}525.$$

При мінімальній силі ваги

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1 + 1{,}2 \cdot 0{,}35 = 1{,}42.$$

Сили вітру, що діють на окремі ділянки:

$$P_i = 0{,}6\cdot P_i \cdot qi \cdot D_i \cdot h.$$

При максимальній силі ваги апарату

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,525 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 1,98 \cdot 10 = 0,982 \cdot 10^{-2} \text{ Мн};$$
$$P_2 = 0,6 \cdot 1,525 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 1.98 \cdot 10 = 0,982 \cdot 10^{-2} \text{ Мн};$$
$$P_3 = 0,6 \cdot 1,525 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} \cdot 1,98 \cdot 10 = 0,634 \cdot 10^{-2} \text{ Мн};$$

При мінімальній силі ваги апарату

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,42 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} - 1,98 \cdot 10 = 0,914 \cdot 10^{-2} \text{ Мн};$$
$$P_2 = 0,6 \cdot 1,42 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 1,98 \cdot 10 = 0,914 \cdot 10^{-2} \text{ Мн};$$
$$P_3 = 0,6 \cdot 1,42 – 0,035 \cdot 10^{-2} \cdot 1,98 < 10 = 0,590 \cdot 10^{-2} \text{ Мн};$$

Вигинаючий момент від вітрового навантаження на апарат без урахування обслуговуючої площадки

$$M_в = \sum_{i=1}^{т-т_щ} P_i (x_i - x_o).$$

При максимальній силі ваги апарату

$$M_{в1} = 0,982 \cdot 10^{-2} \cdot 25 = 0,245 \text{ Мн} \cdot \text{м};$$
$$M_{в2} = 0,982 \cdot 10^{-2} – 15 = 0,147 \text{ Мн} \cdot \text{м};$$
$$M_{в3} = 0,634 \cdot 10^{-2} – 5 = 0,032 \text{ Мн} \cdot \text{м};$$
$$\Sigma M_в = 0,424 \text{ Мн} \cdot \text{м}.$$

При мінімальній силі ваги апарату

$$M_{в1} = 0,914 \cdot 10^{-2} \cdot 25 = 0,2285 \text{ Мн} \cdot \text{м};$$
$$M_{в2} = 0,914 \cdot 10^{-2} \cdot 15 = 0,1371 \text{ Мн} \cdot \text{м};$$
$$M_{в3} = 0,590 \cdot 10^{-2} \cdot 5 = 0,0295 \text{ Мн} \cdot \text{м};$$
$$\Sigma M_в = 0,3951 \text{ Мн} \cdot \text{м}.$$

Вигинаючий момент від вітрового навантаження на площадку відносно опори апарату

$$M_{вп} = \sum_{i=1}^{n} 1,4 \cdot \beta_1 \cdot q_1 \cdot x_{ni} \cdot \sum_{i=1}^{n} F_{ni}.$$

При максимальній силі ваги апарату

$$M_{вп} = 1,4 \cdot 1,525 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 29 \cdot 3,5 = 0,117 \text{ Мн·м.}$$

При мінімальній силі ваги апарату

$$M_{вп} = 1,4 \cdot 1,42 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 29 \cdot 3,5 == 0,109 \text{ Мн·м.}$$

Загальний вигинаючий момент від вітрового навантаження

$$M_{во} = \sum M_{в} + \sum M_{впі}.$$

При максимальній силі ваги апарату

$$M_{во} = 0,424 + 0,117 = 0,541 \text{ Мн} \cdot \text{м.}$$

При мінімальній силі ваги апарату

$$M_{во} = 0,395 + 0,109 = 0,504 \text{ Мн} \cdot \text{м.}$$

Тепер робимо розрахунок розмірів опори апарату. Приймаємо циліндричну форму опори з товщиною стінки S = 16 мм.

Напруження стиснення в опорі при максимальній силі ваги апарату

$$\sigma_c = G_{max} / \{[\pi \cdot (D + S) - d] \cdot (S - C_к)\} =$$
$$= 0,81 / \{[3,14 \cdot (1,6 + 0,016) - 0,5] \cdot (0,016 - 0,001)\} = 11,8 \text{ МПа.}$$

Напруження на вигин в опорній стійці

$$\sigma_и = 4 \cdot M_{во} / \{\pi (D+S)^2 \cdot (S - C_к)\} = 4 \cdot 0/541 / \{3,14 \cdot (1,6 + 0,016)^2 \text{ ?}$$
$$\text{?}(0,016 - 0,001)\} = 17,59 \text{ МПа.}$$

Відношення

$$D / [2 \cdot (S - C_к)] = 1,6 / [2 \cdot (0,016 - 0,001)] = 53,3.$$

При такому значенні відношення коефіцієнти $К_с$ і $К_д$ з рис. 2.14: $К_с$= 0,052; $К_и$= 0,054.

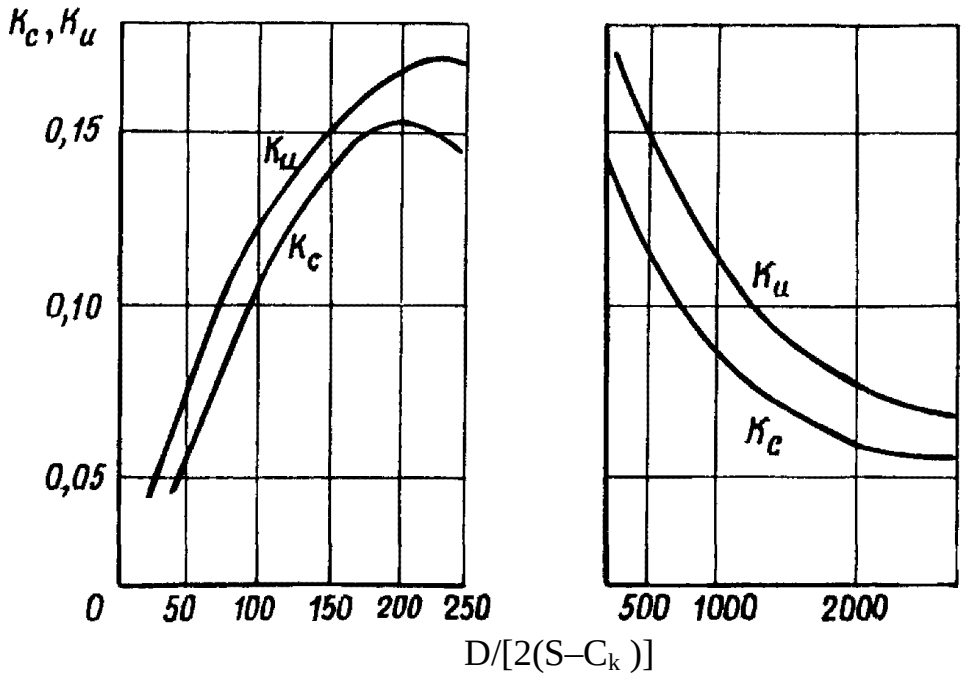


Рис. 2.14. Визначення коефіцієнтів $К_с$ і $К_и$ в залежності від діаметра і товщини стінки

$$К_с = 875 \cdot \frac{\sigma_T}{E^t} \quad К_с = 875 \cdot 330 \cdot 0{,}052 / (2 \cdot 10^5) = 0{,}052;$$

$$К_и = 875 \cdot \frac{\sigma_T}{E^t} \quad К_и = 875 \cdot 330 \cdot 0{,}054 / (2 \cdot 10^5) = 0{,}054.$$

Розраховуємо допустиму напруженість на стиснення в обичайці опори

$$[\sigma_{cd}] = К_с \cdot E^t \cdot (S - С_к)/D = 0{,}052 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0{,}016 - 0{,}001) / 1{,}6 = 98 \text{ Мн/м}^2.$$

Знаходимо допустиму напруженість на вигин в обичайці опори

$$[\sigma_{id}] = К_и \cdot E^t \cdot (S - С_к)/D = 0{,}054 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0{,}016 - 0{,}001) / 1{,}6 = 102 \text{ Мн/м}^2.$$

Перевіряємо умову стійкості опори при $P_H = 0$

$$\sigma_c / [\sigma_{cd}] + \sigma_и / [\sigma_и] = 10,9/98 + 20,6/102 = 0,313 < 1.$$

Бачимо, що умова стійкості дотримується. Визначаємо максимальну напруженість у зварному шві, що з'єднує опору з обичайкою апарата.

Приймаємо $\varphi_ш = 0,70$.

$$\sigma_{max} = G_{max} / [(\varphi_ш \cdot F) + M_{вотах} / ((\varphi_Ш \cdot W)] =$$

$$= G_{max} / [\varphi_ш - \pi \cdot (D + S)(S - C_к)] + 4 \cdot M_{вотах} / [\varphi_ш \cdot \pi \cdot (D + S)^2 -$$

$$- (S - C_к)] = 0,81/[0,7 \cdot 3,14 \cdot (1,6+0,016) \cdot (0,016-0,001)] +$$

$$+4 \cdot 0,541/[0,7 \cdot 3,14 \cdot (1,6 + 0,016)^2 - (0,016-0,001)] = 40,33 \text{ МПа}.$$

Тому що $[\sigma_{ид}] = 160$ МПа $> \sigma_{max} = 40,33$, то міцність зварного шва буде достатньою.

Внутрішній діаметр опорного кільця

$$D_2 = D - 0,06 = 1,6 - 0,06 = 1,54 \text{ м}.$$

Зовнішній діаметр опорного кільця

$$D_1 = D + 2 \cdot S + 0,2 = 1,6 + 2 \cdot 0,016 + 0,2 = 1,832 \text{ м}.$$

Опорна площа кільця

$$F = (D_1^2 - D_2^2) \cdot \pi / 4 = (1,832^2 - 1,54^2) \cdot 3,14/4 = 0,77 \text{ м}^2.$$

Момент опору опорного кільця

$$W = \pi \cdot (D_1^4 - D_2^4)/(D_1 \cdot 32) =$$

$$= 3{,}14 \cdot (1.832^4 - 1{,}54^4) / (1{,}832 - 32) = 0{,}304 \text{ м}^3.$$

Максимальна напруженість стиснення на опорній поверхні кільця

$$\sigma_{max} = G_{max} / F + M_{вомах} / W = 0{,}81/0{,}77 + 0{,}541/0{,}304 =$$
$$= 1{,}05 + 1{,}78 = 2{,}83 \text{ Мн/м}^2 < 10 \text{ Мн/м}^2.$$

Номінальна товщина опорного кільця при l = 0,1 м

$$S_к^1 = 1{,}73 \cdot l \cdot (\sigma_{max} / [\sigma_{ид}])^{1/2} = 1{,}73 \cdot 0.1 \cdot (2{,}83/ 160)^{1/2} = 0{,}023 \text{ м}.$$

З урахуванням прибавки на корозію приймаємо

$$S_К = 0{,}030 \text{ м} = 30 \text{ мм}.$$

Мінімальні напруженості в опорному кільці:
при максимальній силі ваги апарату

$$\sigma = 0{,}81/0{,}77 - 0{,}541/0{,}304 = -1{,}05 \text{ МПа};$$

при мінімальній силі ваги апарату

$$\sigma = 0{,}28/0{,}77 - 0{,}504/0{,}304 = -1{,}29 \text{ МПа}.$$

Приймаємо як розрахункову напруженість в опорному кільці σ = 1,29 МПа і передбачаємо установку фундаментних болтів. Розрахункове навантаження на болти

$$P_{б1}^1 = 0{,}785 - (D_1^2 - D_2^2) \cdot \sigma = 0{,}785 \cdot (1{,}832^2 - 1{,}54^2) \cdot 1{,}29 = 1{,}00 \text{ Мн}.$$

Приймаємо число болтів Z = 12. Тоді навантаження на кожний болт

$$P^1_{б1} = P^1_б / Z = 1{,}00/12 = 0{,}083 \text{ Мн.}$$

Внутрішній діаметр різьби болта

$$d^1_1 = (0{,}785 \cdot P_{б1}/[\sigma_d])^{1/2} + C_к = (0{,}785 \cdot 0{,}083/230)^{1/2} + 0{,}002 =$$

$$= 0{,}017 + 0{,}002 = 0{,}019 \text{ м.}$$

Приймаємо болти М 30 ($d^1_1 = 0{,}0254$ м). Діаметр болтового кола

$$D_б = D + 2S + 0{,}12 = 1{,}6 + 2 \cdot 0{,}016 + 0{,}12 = 1{,}752 \text{ м.}$$

Приймаємо $D_б = 1750$ мм.

2.10. Розрахунок апаратів на сейсмічну стійкість

Розрахунку на сейсмічну стійкість підлягають колонні апарати в районах із сейсмічністю більш 6 балів.

Розрахункова схема апарату залежить від відношення висоти до діаметру. Апарат по висоті розбивають на ділянки, і сила ваги кожної ділянки приймається зосередженою в його середині. Приймають допущення про те, що сейсмічні сили діють у горизонтальній площині.

Сейсмічна сила, яка діє на і-у ділянку, при $H/D \geq 15$ розраховується за формулою

$$P_1 = K_c \cdot \beta \cdot G_i \cdot x_i^2 \sum_{i=1}^{n} G_i x_i^2 / \sum_{i=1}^{n} G_i \cdot x_i^4, \qquad (2.124)$$

при $H/D < 15$ — за формулою

$$P_i = K_c \cdot \beta \cdot G_i \cdot K_i \sum_{i=1}^{n} G_i K_i / \sum_{i=1}^{n} G_i \cdot K_i^2 \qquad (2.125)$$

де P_i — сейсмічна сила, Мн; K_c — сейсмічний коефіцієнт: при 7-бальній сейсмічності K_c = 0,025 (при 8-бальній — K_c = 0,05 і при 9-бальній K_c = 1,0); β — коефіцієнт динамічності, який визначається за рис. 2.15.

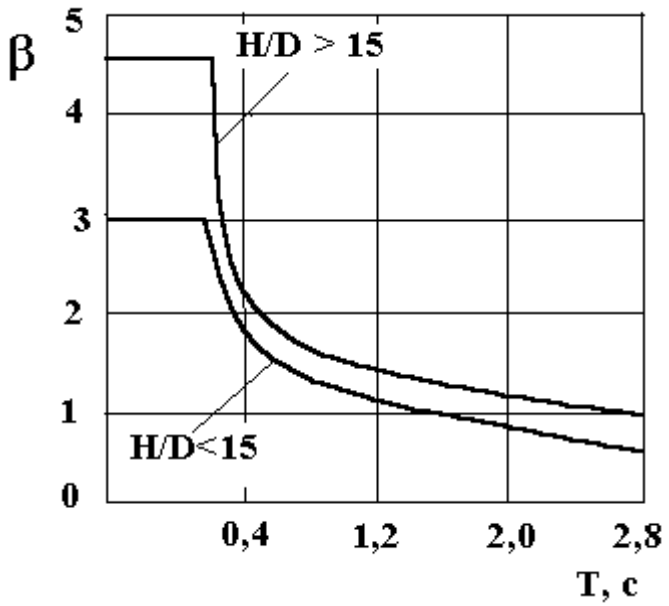


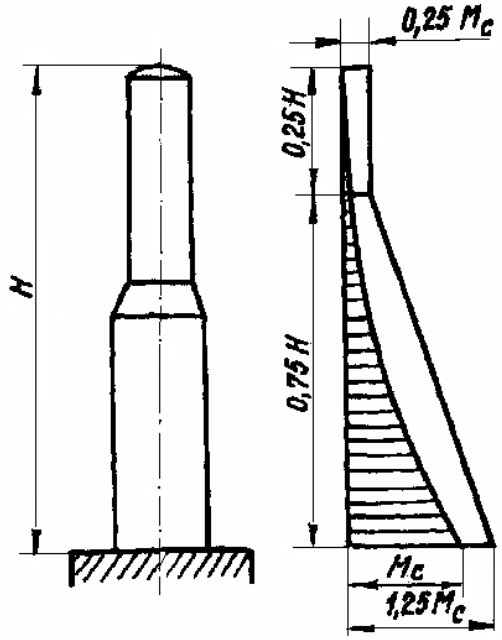
Рис. 2.15. Залежність коефіцієнта динамічності β від періоду власних коливань апарату Т

Вигинаючий момент від сейсмічних сил у нижньому перетині опори апарата при періоді власних коливань Т < 0,6 с

$$M_c = \sum_{i=1}^{n} P_i x_i \; \Sigma \, P, \cdot x. \qquad (2.126)$$

Якщо Т ≥ 0,6 с, то застосовується формула

$$M_{c1} = 1{,}25 \cdot M_c. \qquad (2.127)$$



На рис. 2.16 показаний приклад розподілу вигинаючих моментів за висотою апарата, обумовлених дією сейсмічного навантаження.

Рис. 2.16. Залежність вигинаючого моменту від висоти апарату

Вітрові й сейсмічні навантаження можуть впливати на апарат одночасно. Сумарний момент від дії цих двох видів навантажень у найнесприятливішому випадку

$$M_{сум} = M_c + 0{,}3 \cdot M_в$$

Приклад 9. Розрахувати сумарний вигинаючий момент від дії сейсмічного і вітрового навантажень при сейсмічності, рівній 8 балам (K_c = 0,05), на колону, показану на рис. 2.16. Максимальні сили ваги окремих ділянок: G_1= 0,29 Мн; G_2 = 0,26 Мн; G_3 = 0,26 Мн; x_1 = 25 м; x_2 = 15 м; x_3 = 5 м; T = 0,898 с; $M_{во}$ = = 0,541 Мн·м.

Розраховуємо розміри сейсмічних сил у середині кожної ділянки колони, заздалегідь визначивши значення:

$$\sum_{i=1}^{T} G_i \cdot x_i^2 = 0{,}29 \cdot 25^2 + 0{,}26 \cdot 15^2 + 0{,}26 \cdot 5^2 = 246{,}25 \text{ Мн} \cdot \text{м}^2;$$

$$\sum_{i=1}^{n} G_i \cdot x_i^4 = 0{,}29 \cdot 25^4 + 0{,}26 \cdot 15^4 + 0{,}26 \cdot 5^4 = 125606 \text{ Мн} \cdot \text{м}^4;$$

Знаходимо коефіцієнт динамічності за рис. 2.15 при Т = 0,898 с;

$$H/D > 15 \text{ і } \beta = 1,5.$$

Сейсмічна сила на першій ділянці:

$$P_1 = 0,05 \cdot 1,5 \cdot 0,29 \cdot 25^2 \cdot 246,25/125606 = 2,530 \text{ Мн},$$

на другій ділянці:

$$P_2 = 0,05 \cdot 1,5 \cdot 0,26 \cdot 5^2 \cdot б246,25/125606 = 0,820 \cdot 10^{-2} \text{ Мн},$$

на третій ділянці:

$$P_3 = 0,05 \cdot 1,5 \cdot 0,26 \cdot 5^2 \cdot 246,25/125606 = 0,092 \cdot 10^{-2} \text{ Мн}.$$

Вигинаючий момент у нижньому перетині опори колони від дії сейсмічних сил

$$M_c = P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + P_3 \cdot x_3 = 2,530 \cdot 10^{-2} \cdot 25 + 0,820 \cdot 10^{-2} \cdot 15 +$$
$$+ 0,092 \cdot 10^{-2} = = 63,3 \cdot 10^{-2} + 12,3 \cdot 10^{-2} + 0,460 \cdot 10^{-2} = 0,761 \text{ Мн·м};$$

$$M_{c1} = 1,25 \cdot M_c = 1,25 \cdot 0,761 = 0,952 \text{ Мн·м}.$$

Загальний вигинаючий момент від дії сейсмічного та вітрового навантажень

$$M_{сум} = M_{c1} + 0,3 \cdot M_{во} = 0,952 + 0,3 \cdot 0,541 = 1,115 \text{ Мн·м}.$$

З урахуванням отриманого значення загального вигинаючого моменту рекомендується зробити перерахунок опори колони і фундаментних болтів.

Запитання й вправи для самоконтролю

1. На які найнесприятливіші умови виконують розрахунки апаратів на механічну міцність?
2. Як вибирається розрахункова температура та розрахунковий тиск?
3. Що таке умовний ряд тиску?
4. Поясніть сутність допустимої напруженості.
5. Для чого існує поняття про модуль подовжньої пружності?
6. Які значення мають коефіцієнти запасу міцності?
7. Для чого і як використовують прибавки до товщини стінки апаратів?
8. В чому полягають основи конструювання хімічної апаратури?
9. Що таке коефіцієнт міцності зварних швів?
10. З якою метою проводять нормалізацію апаратів загального призначення?
11. Як розраховується товщина стінки циліндричної обичайки, що знаходиться під внутрішнім тиском?
12. Особливості розрахунків апаратів на механічну міцність, на які діють зовнішній вигинаючий момент, перерізуюча сила, зовнішній тиск?
13. Особливості розрахунків на механічну міцність апаратів, які знаходяться під вакуумом?
14. Що таке кільце жорсткості обичайки?
15. Поясніть сутність розрахунку еліптичних і напівсферичних днищ.
16. Яка різниця між моментом опору і моментом інерції?
17. Яких конструкцій бувають днища апаратів?
18. Що таке допустимий тиск?
19. Сутність розрахунку товщини трубних дощок.
20. Для чого застосовують компенсатори в теплообмінній та холодильній апаратурі?
21. Перелічіть особливості розрахунку барабанних апаратів на механічну міцність.

22. Поясніть, яким чином виконується розрахунок валів мішалок на механічну міцність.
23. Коли необхідно виконувати розрахунок колонних апаратів на вітрове навантаження?
24. Які сили і в якому напрямку діють на колонний апарат, що знаходиться на відкритому майданчику?
25. Перелічіть типи опор для вертикальних циліндричних апаратів.
26. За якою формулою визначають товщину циліндричної опори колонного апарата?
27. Дайте поняття про нормативний швидкісний напір.
28. В яких випадках необхідно розраховувати апарати на сейсмічну стійкість?

Розділ 3. АПАРАТИ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СУСПЕНЗІЙ

Розділення суспензій є однієї з основних операцій у технології неорганічних речовин, особливо в технології солей та мінеральних добрив.

Рушійною силою процесів розділення суспензії можуть бути гравітаційне поле, перепад тиску та відцентрова сила. В залежності від цього апарати для розділення суспензій діляють на відстійники, фільтри, центрифуги та гідроциклони.

Розроблено апарати різноманітних конструкцій, пристосовані для проведення процесів розділення суспензій та промивання осадів в оптимальних режимах.

3.1. Відстійники

Процес відстоювання використовують для очищення ропи і стічних вод, водопідготовки або для підвищення концентрації твердої фази (звичайно проводять перед подачею суспензій на фільтри або центрифуги). У останньому випадку відстійники називають згущувачами.

Швидкість (м/с) осадження (або спливання) твердих часток розраховують за формулою Стокса:

$$\nu_{ос} = d_х^2(\rho_Т - \rho_ж)/18\mu_ж, \qquad (3.1)$$

де $d_х$ — діаметр часток, м.

Щоб прискорити процес осадження, потрібно зменшити в'язкість рідини, наприклад, шляхом її нагрівання та збільшити розмір часток твердої фази.

Збільшити розмір часток дисперсної фази можна, створюючи спеціальні умови кристалізації. Проте в багатьох випадках їхні розміри, обумовлені природою речовини, що кристалізується, й залишаються дуже малими (1—10 мкм). Такі частки осідають повільно (швидкість < 0,1 м/год), і утворюється досить стійка суспензія. Причиною такої усталеності є гідратація (сольватація) поверхні зважених часток, що перешкоджає їхньому злипанню й рекристалізації. Збільшити швидкість осідання часток до 5—7 м/год можна за рахунок додавання в суспензію коагулянтів, які викликають утворення пластівчастої структури твердої фази.

Проте присутність коагулянтів допускається, якщо осад не є цільовим продуктом. Як коагулянти використовують хлориди і сульфати алюмінію та заліза, крохмаль, муку і поліакриламід (0,1—0,3 % від маси шламу).

Через неправильну геометричну форму часток уводять поняття чинника форми φ

$$\nu'_{ос} = \varphi\, \nu_{ос} \qquad (3.2)$$

Для часток круглої форми (наприклад, $NaHCO_3$) приймають φ = 0,77, для некруглих часток (NaCl, $NaNO_3$, $MgS0_4 \cdot 6H_20$) — φ = 0,66, для довгастих ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) — φ = 0,58, для пластинчастих [$A1(OH)_з$] — φ = 0,43. Якщо ж розмір часток узятий із даних седиментаційного аналізу, то φ = 1.

На практиці процес відстоювання суспензії протікає в режимі затиснутого осадження. Швидкість затиснутого осадження можна розрахувати за емпіричною формулою:

$$\nu_{ос} = \varphi \, \nu'_{ос} \cdot \varepsilon_{Ж}^{2} \cdot 10^{-1,82(1-\varepsilon_{Ж})} \qquad (3.3)$$

де $\varepsilon_ж$ — об'ємна частка рідкої фази

$$\varepsilon_ж = V_ж/(V_ж + V_т) = X/(X + \rho_ж/\rho_т). \qquad (3.4)$$

$V_ж$ і $V_т$ — відповідно об'єми рідкої й твердої фази, $м^3$; X — масове відношення рідкої та твердої фаз.

Рівняння (3.3) справедливе при $\varepsilon_ж > 0,7$. Звичайно суспензії крупнокристалічних речовин згущують перед подачею на фільтрування до значення відношення Р/Т = 1,5—2,0, а суспензії високодисперсних речовин (наприклад, $BaCO_з$ або $BaSO_4$) — до Р/Т = 3,0, що забезпечує можливість її перекачування на такі технологічні стадії. Згущувати високодисперсні (тонкі) суспензії до більш низьких значень Р/Т небажано через можливе утворення тиксотропної системи.

Визначивши швидкість затиснутого осадження часток, розраховують площу ($м^2$) відстійника:

$$F = G_{осв}/(\rho_ж V_{ст}), \quad (3.5)$$

де $G_{осв}$ — маса освітленої рідини, кг; $V_{ст}$ — продуктивність відстійника $м^3/м^2$.

Для забезпечення надійності роботи відстійника значення площі поверхні, розраховане за формулою (3.5), у випадку центрального введення суспензій рекомендується збільшити на 30—35 % через можливість вихороутворення, умовності вибору коефіцієнта.

Швидкість осідання пластівчастого осаду неможливо розрахувати на підставі рівнянь (3.1—3.3). У даному випадку необхідно мати експериментальні дані про швидкість руху межі освітленого прошарку.

Якщо перетворити рівняння (3.5), одержимо:

$$V_{осв} = F \cdot V_{ст} \quad (3.6)$$

Звідси очевидно, що об'ємна продуктивність відстійника $V_{осв}$ ($м^3/с$) залежить від його площі і швидкості осідання часток і не залежить від висоти. Тому висоту відстійника приймають конструктивно, виходячи з технологічних міркуваннь.

У табл. 3.1 наведені основні розміри найчастіше використовуваних типових відстійників.

Відстійник (рис. 3.1) являє собою циліндричну ємність із плоским або конічним днищем. У верхній внутрішній частині до його корпусу приварений зливальний кільцевий жолоб 1 із зазубреними краями. Відстійник обладнаний мішалкою, що складається з валу, сполученого через подвійний планетарний привід із електродвигуном, і гребкового пристрою 4. Гребки, встановлені під кутом до напрямку їхного руху, пересувають осад до розвантажувального штуцера 6. Швидкість руху гребків підбирають так, щоб рідина обтікала їх ламінарно і вони не скаламучували осаду. В центрі апарату навколо валу розташована завантажувальна труба 2, опущена на деяку глибину в рідину.

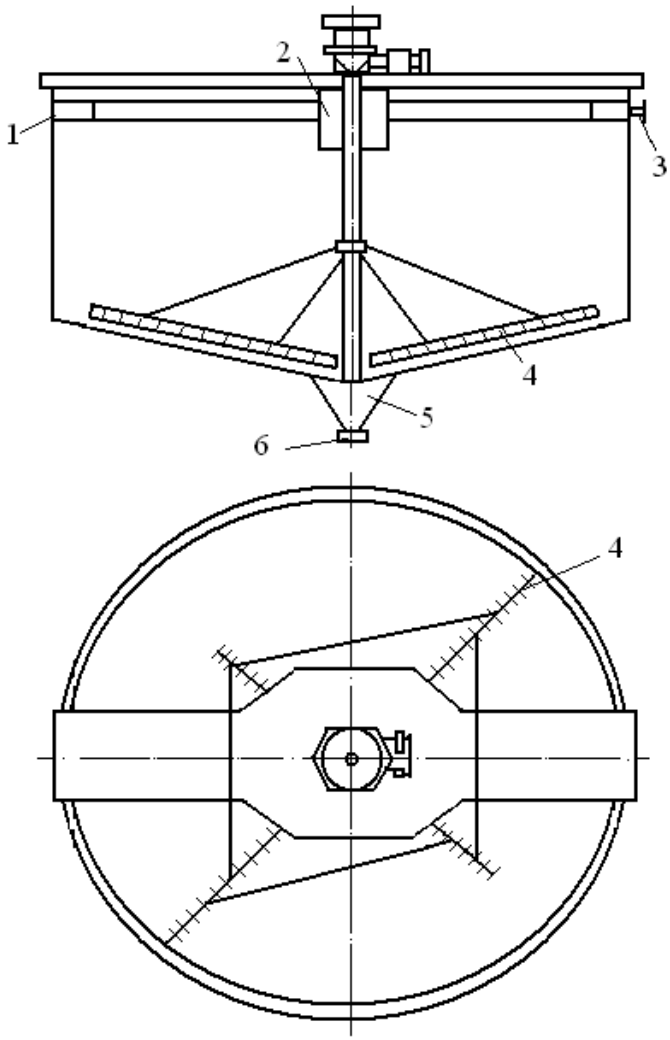


Рис. 3.1. Типовий відстійник з центральним введенням суспензії: 1 — кільцевий жолоб; 2 — завантажувальна труба; 3 — зливальний штуцер; 4 — гребковий пристрій; 5 — пристрій для ущільнення шламу; 6 — розвантажувальний штуцер

Таблиця 3.1. **Основні розміри відстійників безупинної дії**

Діаметр, м	Глибина, м	Площа осадження, $м^2$	Тривалість одного оберту вала, хв	Потужність електродвигуна, кВт
2,5	1,5	5	2,0	0,8

4,0	2,5	12	3,0	1,1
6,0	2,5	28	4,0	2,2
12,0	3,0	110	6,0	3,0
18,0	3,6	250	9,0	4,0

Подібні відстійники застосовують, наприклад, у виробництвах карбонату барію і $BaSO_4$. При переробці агресивних середовищ і при виробництві чистих продуктів відстійники футерують органічними і неорганічними кислотостійкими матеріалами.

У содовій промисловості для очищення ропи від сполук кальцію й магнію використовують відстійники діаметром 18 м, висотою 7,9 м із центральним введенням суспензії. Суспензію вводять на глибину 4 м. Значна висота відстійника та глибина введення суспензії обумовлені технологічними особливостями очистки розсолу.

За способом введення суспензії відстійники можна поділити на апарати з центральним і периферійним введенням. При центральному введенні суспензії в зоні введення спостерігається турбулізація рідини, що зменшує корисну площу відстійника. При периферійному введенні осідаючі частки не відчувають збурення потоку. В зв'язку з цим запропоновано переобладнати існуючі в содовій промисловості відстійники з центральним введенням суспензії на відстійники з периферійним введенням, що повинно підвищити їхню продуктивність приблизно в 2 рази.

Відстійник такої конструкції (рис. 3.2) працює наступним чином. Суміш сирої ропи з реактивами вводиться в кишеню кільцевого жолоба 1 і завдяки його ухилу розтікається по ньому, переливаючись через борти в кільцевий простір, утворений корпусом відстійника 3 та кільцевою перегородкою 2. Кільцевий простір служить одночасно реактором, у якому створюється тверда фаза. Осілий шлам переміщується гребковою фермою 4, яка робить один оберт за 12 хв, до центру і безупинно виводиться через нижні штуцери 6. Освітлена ропа зливається через центральний відкритий кільцевий резервуар 8 і приєднану до нього трубу 7.

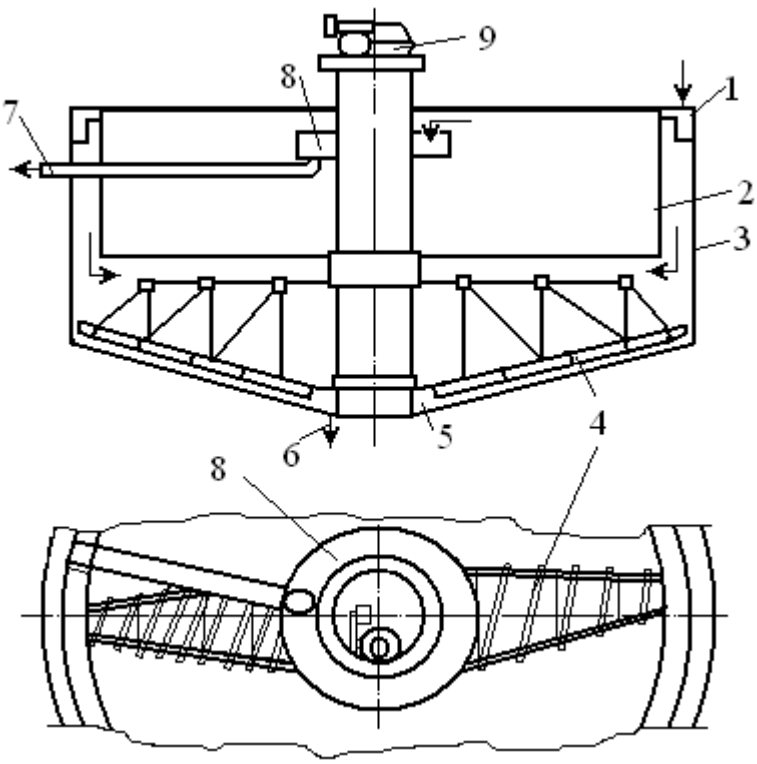


Рис. 3.2. Відстійник із периферійним введенням суспензій: 1— кільцевий жолоб; 2 — кільцева перегородка; 3 — корпус; 4 — гребкова

ферма; 5 — устрій для ущільнення шламу; 6 — розвантажувальний штуцер; 7 — зливальна труба; 8 — кільцевий резервуар

Прикладом апарату з периферійним введенням суспензії може слугувати відстійник-декантер, використовуваний у виробництві гідроксиду натрію вапняним способом (рис. 3.3). Діаметр його дорівнює 9 м, висота циліндричної частини — 4 м, конічної — 3,75 м. До корпуса 1 відстійника в верхній його частині жорстко прикріплений дзвін 2 діаметром 7,8 м, на якому встановлена кільцевидна розподільна чаша 6 із зазубреними краями. Крізь дзвін і приймач освітленого щолоку 5 вільно проходить вал мішалки, що робить один оберт за 10 хв. Суспензія надходить трубою 4 у розподільну чашу 6 і розливається по поверхні дзвону, звільняючись від пухирців повітря, спроможних порушити процес відстоювання. Таким чином, дзвін служить одночасно устроєм для видалення повітря із суспензії і для периферійного її введення. Освітлений розчин надходить у приймач 5 і виводиться з відстійника по трубі 3, пропущеній крізь його корпус. Осілий шлам виводиться через штуцер 8, розташований у днищі відстійника.

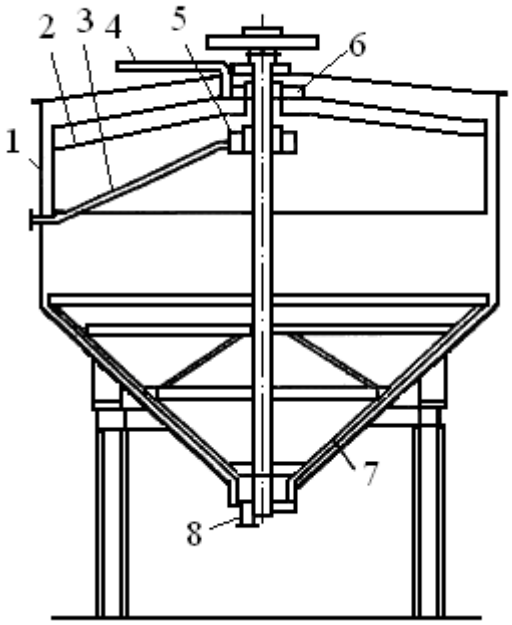


Рис. 3.3. Відстійник-декантер: 1 — корпус; 2 — дзвін; 3 — зливальна труба; 4 — труба подачі; 5 — приймач освітленого щолоку; 6 — розподільна чаша; 7 — гребковийпристрій; 8 — розвантажувальний штуцер

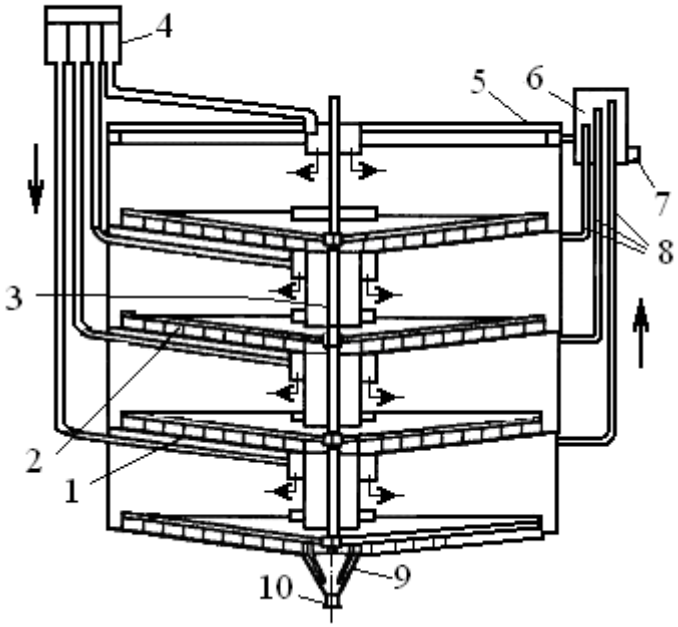


Рис. 3.4. Чотирикамерний відстійник: 1 — діафрагма; 2 — гребки; 3 — перетічний стакан; 4 — розподільна коробка; 5 — кільцевий жолоб; 6 — зливна коробка; 7 — зливальний штуцер; 8 — зливні труби; 9 — конус нижньої камери; 10 — розвантажувальний штуцер

Чотирикамерний відстійник (рис. 3.4) являє собою циліндричну ємність діаметром 20 м і висотою 10,5 м, поділену діафрагмами на чотири камери, які з’єднуються між собою через перетічні стакани 3. Осілий шлам зрушується гребками 2 до

центру і перетічними стаканами надходить із кожного ярусу в корпус 9 нижньої камери, відкіля безупинно видаляється через штуцер 10 за допомогою насоса. Камери відстійника працюють паралельно. Для розподілу суспензії між камерами служить розподільна коробка 4. По периферії відстійника встановлені чотири зливальні коробки 6. Злив із верхньої камери надходить у зливальну коробку через кільцевий жолоб 5, з інших же камер - зливальними трубами 8. У верхній своїй частині зливальні труби обладнані телескопічними пристроями, що дозволяють піднімати або опускати рівень зливу в тій або іншій камері й, тим самим, регулювати в ній рівень межі освітленого прошарку. Освітлений розчин видаляється зі зливальної коробки через штуцер 7.

Загальна площа поверхні осадження чотириярусного відстійника складає 1256 м^2.

Незалежна паралельна робота камер можлива завдяки різниці густини освітленого розчину і згущеної суспензії, а також наявності гідрозатвора, що утворюють перетічні стакани, опущені в прошарок згущеної суспензії.

Для згущення суспензій, які швидко розділяються, застосовують звичайно відстійники, що мають кут при вершині конічного днища 120^o. Вони також обладнані тихохідними мішалками.

До переваг відстійників відносять низькі енергетичні витрати на поділ суспензій, простоту устрою, а отже, високу надійність у роботі й простоту ремонту та виготовлення.

Відстійники мають велику продуктивність і можуть розділяти суспензії з високими значеннями відношень Р/Т.

Недоліками відстійників є низький ступінь поділу та великі габарити.

3.2. Фільтри

У технології неорганічних речовин застосовують фільтри барабанні, дискові, стрічкові і карусельні вакуум-фільтри, листові, фільтр-преси рамні і автоматичні типу ФПАКМ, нутч-фільтри.

3.2.1 Фільтрувальні перегородки

Від правильного вибору фільтрувальних перегородок багато в чому залежать продуктивність фільтрів, чистота фільтрату, термін служби перегородки, а отже, і економічність процесу фільтрування. Вони повинні бути стійкими до впливу середовища, мати достатню механічну міцність і теплостійкість, сталість при згинанні та стійкість до стирання, здатність приймати форму опорної конструкції, ущільнюючі властивості, добре затримувати тверді частки, мати низький гідравлічний опір і малу адгезію до осаду.

Для розділення нейтральних суспензій при температурі до 100 °С використовують бавовняні тканини (миткаль, діагональ, бельтінг). У кислому й лужному середовищах вони досить швидко руйнуються.

Застосовують шерстяні, скляні, перхлорвінілові (хлоринові), поліамидні, лавсанові тканини.

Шерстяні тканини виготовляють в основному з овечої вовни у вигляді сукна і байки. Вони набагато стійкіші бавовняних тканин до дії кислих розчинів, але менш стійкі до дії лугів. Перхлорвінілові і лавсанові тканини стійкі до дії кислот, лугів і окислювачів, не набухають у воді. Поліамидні тканини стійкі до дії лугів навіть при 100 °С. Скляні тканини відрізняються високою стійкістю в кислих розчинах, великою міцністю при розтягуванні, але поганою стійкістю при стиранні.

Як фільтруючі перегородки можуть використовуватися металеві тканини, сітки, пористі плити з кераміки, скла, графіту.

3.2.2. Конструкції фільтрів

Барабанні вакуум-фільтри БОК 1-1; БЛУ 5,6-1,8; БТР 30-3-4; БОУ 40-3-4. Перша буква означає, що фільтр барабанний. Друга вказує на призначення фільтра: О — загального призначення, Л — для суспензій, які легко фільтруються, Т — для суспензій, які важко фільтруються. Третя буква означає

виконання фільтру за матеріалом деталей: К — з корозійно-стійкої сталі, У — з вуглецевої сталі, Р — з гумованими деталями, П — з деталями з пластмаси. Перша цифра після букв площа поверхні фільтрування ($м^2$), друга діаметр барабану (м), третя модифікація.

Барабан фільтра розділений на елементи й покритий спочатку металевою сіткою, а потім фільтровальною тканиною. Він обертається на порожнистому валу, один кінець якого з'єднаний з приводом, а інший примикає до розподільного пристрою, який служить для послідовного сполучення елементів з джерелами вакууму й стисненого повітря. Це дозволяє чергувати операції фільтрування, промивки, обезводнення, видалення осаду, регенерації тканини.

Видалення осаду товщиною не менше за 8—10 мм здійснюється за допомогою ножа, встановленого похило вздовж створюючої барабана.

Липкі осади товщиною 2—4 мм добре знімаються шнурами (рис. 3.5). Нескінченні шнури натягнуті паралельно один одному на відстані 6—25 мм. Вони рухаються по замкненому контуру, огинаючи барабан 5, натяжний 2 та направляючий 4 ролики. При цьому шнури відділяються від тканини разом з осадом, який потім відривається від них при обгинанні натяжного ролика. Збереження потрібної відстані між шнурами забезпечується направляючою гребінкою 3. Таким чином видаляють, наприклад, осади $Mg(OH)_2$ і $CaCO_3$.

Стандартизовані вакуум-фільтри загального призначення можуть мати площу фільтрування від 0,25 до 100 м^2. Кутову швидкість обертання барабана можна регулювати від 0,011 до 0,21 радіан/с.

Їх використовують для фільтрування суспензій $A1(OH)_3$, $BaS0_4$, карбонатів кальцію, магнію, барію і інших.

Фільтри типу БЛ застосовують, наприклад, для виділення галітових хвостів в калійній промисловості; фільтри типу БТ у виробництві диоксиду титану.

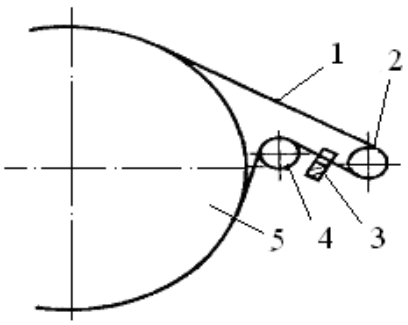


Рис. 3.5. Схема зняття осаду шнурами: 1— шнур; 2 — натяжний ролик; 3 — направляюча гребінка; 4 — направляючий ролик; 5 — барабан

Стрічкові вакуум-фільтри мають площу фільтрування від 1,0 до 20,0 м^2. Схематично їх устрій показаний на рис. 3.6. Опорна тканегумова нескінченна стрічка 2 огинає два барабани 7, що обертаються. При цьому один з барабанів є привідний, а інший натяжний. Зверху стрічка ковзає по горизонтальному столу 3 з подовжніми прорізами, які з'єднують область

фільтрування перегородки з вакуум-камерами 4, розташованими під столом.

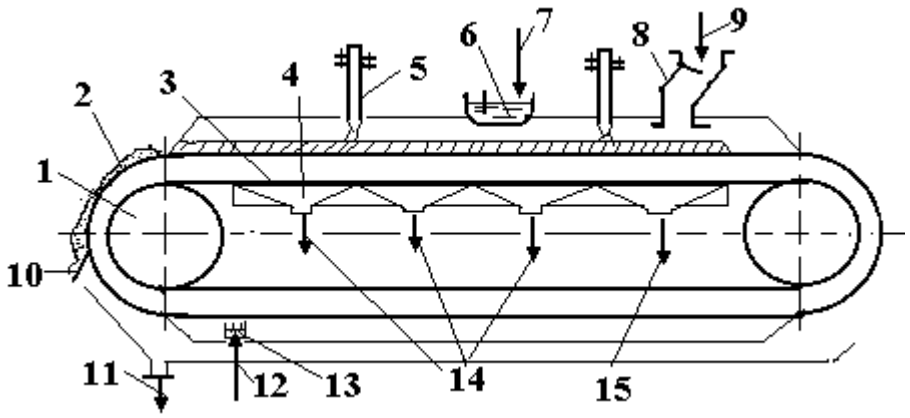


Рис. 3.6. Стрічковий вакуум-фільтр: 1 — барабан; 2 — стрічка; 3 — стіл; 4 — вакуум-камери; 5 — завіси; 6 — промивний пристрії; 7 — рідина на промивку осаду; 8 — лоток; 9 — суспензія; 10 — ніж; 11 — злив регенераційної рідини; 12 — рідина на регенерацію тканини; 13 — розбризкуючий пристрій; 14 — промивна рідина; 15 — фільтрат

Робоча поверхня стрічки рифлена. Поперечні рифлення з'єднуються з подовжнім поглибленням на середині стрічки. Через наскрізні отвори поглиблення сполучається з отворами в столі і відповідно з вакуум-камерами. Завдяки рифленням під фільтрувальною тканиною утворюється вільний простір. Тканина по краях прикріплена до стрічки гумовим шнуром, закладеним в подовжній паз, і покриває всю її робочу поверхню. Краї гумової стрічки м'які і на верхній горизонтальній дільниці відгинаються догори, внаслідок чого стрічка приймає форму жолоба. Нижня частина її спирається на ролики або вільно провисає.

Суспензія поступає на фільтр з лотка 7. Осад відділяється з фільтра або ножем, або під дією сили ваги, або віддувкою повітрям. Після відділення осаду тканина промивається з спеціальних розбризкуючих пристроїв 9. Зони фільтрування I, промивки II і просушування III розмежовані завісами 5 з м'якої гуми або тканини в декілька шарів. Еластичні краї завіси ковзають по осаду, не знімаючи його, але запобігаючи змішуванню рідин над ним. Завіси встановлюють над перегородками між вакуум-камерами. Довжину окремих робочих зон можна регулювати переміщенням вздовж фільтра завіс 5 та промивного пристрою 6.

Стрічкові вакуум-фільтри призначені для фільтрування полідисперсних суспензій. Осадження насамперед великих часток зменшує закупорку пор тканини дрібними кристалами. Достоїнствами стрічкових фільтрів є простота устрою й регулювання тривалості окремих операцій фільтрування, а також можливість організації багатоступінчастої промивки осаду. Недолік полягає в малій площі фільтрування і нечіткому розмежуванні зони фільтрування і промивки, що приводить до деякого розведення фільтрату. Використовують стрічкові вакуум-фільтри у виробництвах борної і екстракційної фосфорної кислот, хлориду калію.

Карусельний вакуум-фільтр застосовують у виробництві екстракційної фосфорної кислоти. Він складається з горизонтальної рами кільцевої форми, що обертається, яка спирається на ролики, котрі котяться круговими рейками. На рамі

встановлено 24 перекидних фільтрувальних лотки (нутчі), в які вкладені перфоровані опорні перегородки, покриті фільтровальною тканиною. Вакуумна порожнина лотків сполучена гнучкими шлангами з розподільною головкою, аналогічною тим, що застосовуються в барабанних вакуум-фільтрах.

При обертанні рами кожний лоток послідовно проходить зони фільтрування, двох (або більше) промивок осаду, розвантаження і регенерації тканини. Після фільтрування і кожної промивки осад зневоднюється шляхом просмоктування через нього повітря.

У зоні вивантаження лоток автоматично перекидається, і осад під дією власної ваги та стисненого повітря скидається в бункер. Після цього тканина промивається струменями води, направленими вгору, а потім просушується повітрям. До моменту залиття суспензії лоток повертається в початкове положення.

Завдяки наявності в карусельному фільтрі ізольованих один від одного лотків можна отримати концентрований, нерозведений промивною рідиною фільтрат і провести багатоступеневу протитечійну промивку осаду мінімальною кількістю води. Карусельні вакуум-фільтри відрізняє висока продуктивність і тривалий термін служби тканини.

Недоліком є великі габаритні розміри (19×17, 7×4,9 м) та маса.

Загальна площа фільтруючої поверхні карусельного фільтру К-100-15К становить 105 м^2, площа зони активного

фільтрування 80 $м^2$. Зовнішній діаметр поверхні фільтрування рівний 15 м, а довжина лотка 3,3 м. Основні деталі фільтра виготовлені з сталі ОХ23Н28М3Д3Т.

Дисковий вакуум-фільтр (рис. 3.7) складається з горизонтального валу, що обертається, на який насаджені диски 2. Диски занурені в корито, що складається з секцій 5, причому кожний диск занурений в окрему секцію.

Диски розділені на дванадцять секторів з перфорованими стінками, обтягнутими тканиною. Кожний сектор за допомогою окремого каналу, який проходить всередині валу, з'єднаний з розподільним пристроєм 3, аналогічним тим, що застосовуються в барабанному вакуумі-фільтрі. В зоні зняття осаду всередину сектора з ресивера через розподільний пристрій подається стиснене повітря, яке сприяє відділенню осаду від тканини та зніманню його ножами 6. Ножі встановлені з обох сторін дисків.

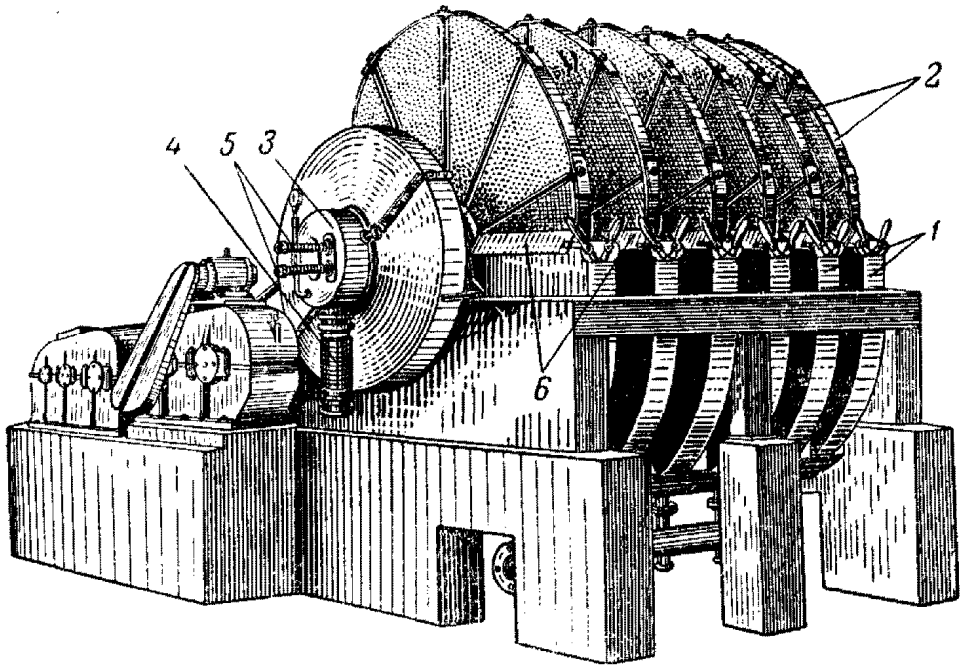


Рис. 3.7. Дисковий вакуум-фільтр: 1 — секції; 2 — фільтрувальні диски; 3 — розподільний пристрій; 4 — трубопровід для з'єднання з джерелом вакууму і видалення фільтрату; 5 — трубопроводи для подачі стиснутого повітря; 6 — ножі для знімання осаду

Знятий з тканини осад провалюється між секціями 1 корита в бункер під фільтром. Суспензія на фільтри подається через колектор. Постійний рівень суспензії в фільтрі підтримується за допомогою переливних трубок. На фільтрах, що мають більше за 4—6 дисків, розподільні пристрої встановлюють на обох кінцях валу. Дискові вакуум-фільтри (наприклад, ДК 9-1,8-2; ДУ 68-2,5-2) мають наступне умовне позначення типорозміру. Перша буква означає дисковий, друга виконання за матеріалом; цифра після букв — площа фільтрування ($м^2$), наступна — діаметр диска (м), третя цифра модифікація.

Дискові фільтри виготовляють з площею фільтрування від 0,3 до 250 $м^2$ і кількістю дисків до 14. Вони призначені для

розділення суспензій з частками приблизно однакової дисперсності. Осад, що утворюється на фільтрі, при просушуванні не повинен розтріскуватися.

До переваг дискових фільтрів відносять компактність конструкції й малу масу на одиницю фільтруючої поверхні (200—300 кг/м^2). Недоліком є те, що при промивці осаду фільтрат розводиться.

Фільтр-преси — періодичної дії призначені для фільтрування тонких суспензій. Фільтр-преси бувають рамні з площею фільтрування від 2,5 до 140 м^2, автоматичні камерні (ФПАКМ) з площею фільтрування від 2,0 до 50 м^2.

Основні деталі рамних фільтр-пресів можуть бути виготовлені з вуглецевої й корозійно-стійкої сталі, дерева й склопластика. Вони можуть працювати при відношенні Р/Т = 2 ÷ 10 і температурі до 80 °С. Ці фільтри використовують, наприклад, для фільтрування суспензій хлориду та сульфату барію.

Цикл роботи фільтр-пресу ФПАКМ складається з операцій: стиснення плит, подача суспензій, фільтрування, промивка осаду, його зневоднення, розсування плит і вивантаження осаду з одночасним промиванням тканини. Зневоднення осаду можна проводити або шляхом ущільнення твердої фази діафрагмою, або продуванням повітрям. Розвантаження осаду відбувається на обидві сторони фільтру.

Система автоматики передбачає можливість зблокованої роботи фільтр-преса і насосів для подачі суспензій і промивної

рідини. Робочий тиск в камері фільтр-пресу становить від 1,2 до 1,5 МПа.

Типорозмір фільтр-пресу (наприклад, ФПАКМ5У або 1ФПАКМ25Н) позначають наступним чином: ФПАКМ виготовлений з діафрагмами, 1ФПАКМ без діафрагм, продуванням осаду повітрям; цифра між буквами площа фільтрування ($м^2$); остання буква виконання за матеріалом (У — Ст3, Н — сталь 12Х18Н9Т, Т — титан ВТ1-0).

Перевагами фільтрів ФПАКМ є розвинена поверхня фільтрування, можливість за допомогою діафрагми регулювати вологість осаду, а також повна автоматизація управління. Осад виходить з меншою вологістю, ніж на фільтрах інших типів. Недо-ліки — складність конструкції, а отже, низька ймовірність безвідмовної роботи та складність ремонту.

Листові фільтри призначені для фільтрування суспензій через тканину або сітку з використанням в ряді випадків допоміжної фільтруючої речовини (ДФР).

У позначенні типорозміру листового фільтра (наприклад, ЛГв20У, ЛВАж125К) буква Л означає листовий, Г — горизонтальний, В — вертикальний, А — автоматизований, в — з віброзкиненням осаду, г — гідростатичний; ж — з гідрозмиванням осаду; цифра після букв площа поверхні фільтрування ($м^2$); букви У, Р, К після цифри виконання фільтра за матеріалом.

Як ДФР можуть бути використані діатоміт, перліт, деревна мука, азбест, целюлоза, вугілля та інші матеріали. Діатоміт

(інфузорна земля або кизельгур) являє собою залишки мікроскопічних морських рослин, що закам'яніли. Перліт мінерал вулканічного походження, званий інакше природним склом. При використанні ДФР потрібно враховувати їх вартість. Наприклад, целюлоза в 2—3 рази, азбест в 10—30 разів дорожчі, ніж діатоміт або перліт.

Суть фільтрування з використанням ДФР полягає в тому, що суспензію пропускають через шар допоміжної фільтруючої речовини, попередньо «нафільтрованого» на сітку або тканину.

Процес фільтрування з ДФР може йти за двома механізмами:

1) частки, розміри яких менші, ніж пори шару ДФР, затримуються в глибині шару внаслідок звуження пор від поверхні в глибину, а також внаслідок осідання їх у вигинах пор;

2) головну роль в процесі грають поверхневі явища взаємодії фаз. Процес протікає найбільш ефективно, якщо частки суспензії й ДФР мають протилежні заряди. При цьому може відбуватися адсорбція часток на стінках капілярів, а також їх коагуляція. У виробництві глинозему для фільтрування алюмінатного розчину з використанням ДФР застосовують вертикальні листові автоматизовані фільтри з гідрозмивом осаду ЛВАж125К. В якості ДФР використовують крафт-целюлозу.

Принципова схема вертикального листового фільтра показана на рис. 3.8. Він складається з циліндричної обичайки 1 з конічним днищем, прямокутних фільтрувальних елементів 2, які спираються на планку 3 і колектор 5, знімної кришки 4.

Суспензія нагнітається всередину фільтра насосом через штуцер 7, а фільтрат витікає зі штуцера 5. Осад змивається з фільтрувальних елементів водою і виводиться через штуцер 6. Фільтруючий елемент являє собою раму прямокутної форми, в яку вставлені дренажна і фільтруюча сітки, що створюють порожнину, яка з'єднується з штуцером відведення фільтрату.

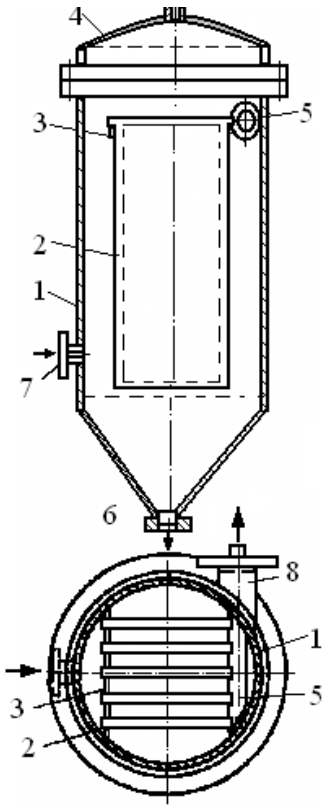


Рис. 3.8. Принциповий устрій вертикального листового фільтру: 1 — обичайка; 2 — фільтрувальні елементи; 3 — планка; 4 — кришка; 5 — колектор; 6, 7, 8 — штуцери

Цикл роботи фільтра складається з наступних операцій. Спочатку фільтр заповнюють суспензією целюлози (3—3,5 г/л),

приготованою в розчині алюмінату натрію, та фільтрують її. При цьому на сітці утворюється намивний шар товщиною 2—4 мм. Потім проводять операцію фільтрування з отриманням чистого розчину до підвищення надлишкового тиску в фільтрі 0,2 МПа. Після цього суспензія, що фільтрується спускається у відповідний збірник, а осад і намивний шар з поверхні листів змиваються водою в збірник шламу.

У виробництві сірчаної кислоти для очищення розплавленої сірки використовують горизонтальні листові фільтри, наприклад ЛГв20У. Вони складаються з набору фільтрувальних листів, з'єднаних з колекторною трубою відведення фільтрату, яка проходить через нерухомо закріплену на рамі еліптичну кришку. Горизонтальний циліндричний корпус переміщується на катках рейками рами. Корпус, кришка й запірна арматура фільтру обладнані паровими сорочками. Фільтрування сірки проводять через намивний шар з діатоміту. Процес припиняється при досягненні максимального тиску. Намивний шар і осад з фільтрувальної перегородки знімаються вібрацією фільтрувальних листів, а з дна видаляються нерухомо закріпленими шкребачками під час відкочування корпусу.

Управління роботою фільтра здійснюється дистанційно з пульту.

Найпростішими за конструкцією та компактними є фільтри Лг40 і Лг70 з поверхнею фільтрування відповідно 40 і 70 $м^2$. Їх називають частіше **мішковими.** Вони призначені для освітлення розчинів, що містять невелику кількість твердих часток, і

застосовуються звичайно для контрольного фільтрування, тобто для повторного фільтрування після фільтр-пресів, вакуум-фільтрів або згущувачів. Процес фільтрування в мішковому фільтрі проводять під гідростатичним тиском шару суспензії (4—7 м).

Мішковий фільтр складається з щільно закритого корпусу прямокутного перетину з розміщеними в ньому фільтрувальними елементами. Основною деталлю фільтрувального елемента є каркас (рис. 3.9), що складається з планок 1, з'єднаних між собою і прикріплених до труби 2 з отворами, по якій відводиться фільтрат. Всередині каркасу натягнуті ланцюжки 3. Цей каркас вміщений в мішок з фільтрувальної тканини і вставлений в корпус фільтра, в якому розміщено більше 40 фільтрувальних елементів.

При роботі фільтра суспензія, яка поступає в простір між мішками, утворює осад на їх зовнішній поверхні, а фільтрат від-

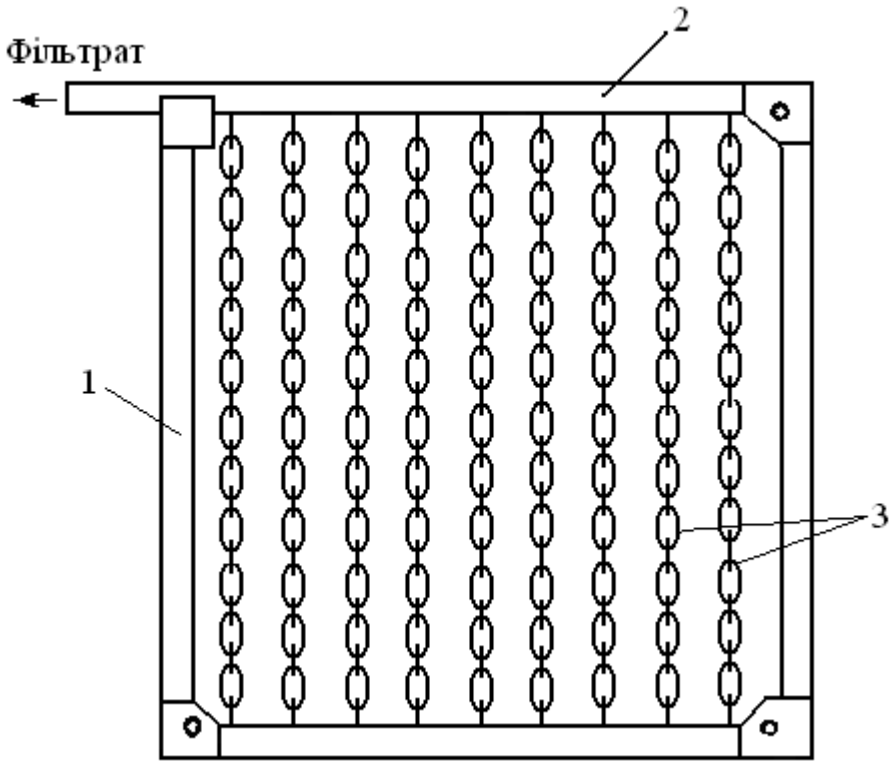


Рис. 3.9. Каркас фільтрувального елемента мішкового фільтра: 1 — планки; 2 — труба; 3 — ланцюжки

водиться по трубі 2 в колектор. Мішкові фільтри, як і листові, є апаратами періодичної дії. Видалення осаду з фільтрувальних елементів можна провести або зворотною подачею фільтрату, або вручну, виймаючи з корпусу фільтрувальні елементи й змиваючи осад струменем води.

Нутч-фільтри застосовують в малотонажних виробництвах з періодичною технологією, де немає необхідності (економічно недоцільно) використати фільтри безперервної дії. Звичайно такими є виробництва реактивів.

У зв'язку з високими вимогами до чистоти реактивів, нутч-фільтри виготовляють з емальованого чавуну або порцеляни.

Вони мають площу фільтрування від 0,1 до 0,8 м^2 і діаметр від 0,38 до 1,0 м. Маса, що доводиться на 1 м^2 фільтруючої поверхні, становить приблизно 1450 кг для чавунних і від 600 до 690 кг для порцелянових фільтрів. Нутч-фільтр (рис. 3.10) складається зі збірника фільтрату 1, фільтрувальної царги 2, решітки 3 і опорного пристрою 4. Збірник забезпечений штуцерами: 6 для приєднання до вакуум-насоса і 8 для спуску фільтрату. Фільтруючі решітки, опорний пристрій, царга і збірник пришліфовані один до одного для запобігання підсмоктування повітря. На решітку вкладається фільтрувальна тканина з відповідного матеріалу. Для стійкості фільтр встановлюють на спеціальну підставку 7. Царга притискається до збірника за допомогою болтів спеціальними стальними кільцями 5, під які підкладається гумова прокладка.

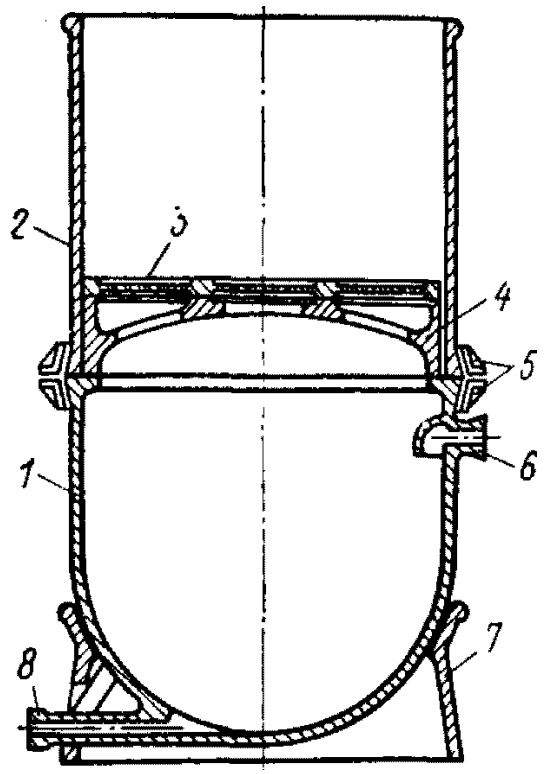


Рис. 3.10. Нутч-фільтр порцеляновий: 1 — збірник; 2 — царга; 3 — фільтруючі решітки; 4 — опорний пристрій; 5 — стальні кільця; 6,8 — штуцери; 7 — підставка

3.3. Центрифуги

3.3.1. Класифікація і позначення центрифуг

Промисловість виробляє центрифуги різних типорозмірів. Тенденція до збільшення одиничної потужності технологічних установок і поява виробництв нових хімічних продуктів зумовлює розширення асортименту центрифуг, що випускаються. Їх класифікують за характерними технологічними ознаками та конструктивними особливостями.

До характерних ознак центрифуг відносять принцип розділення суспензії, технологічне призначення й характер протікання процесу; до конструктивних особливостей — розташування валу та його опор, спосіб вивантаження осаду, виконання центрифуги (герметичність та вибухозахищеність).

За принципом розділення розрізнюють центрифуги фільтруючі, осаджувальні й комбіновані. Фільтруючі призначені для розділення суспензій, коли потрібне глибоке обезводнення і високий ступінь промивки осаду. Осаджувальні центрифуги в залежності від технологічного призначення поділяють на

зневоднюючі та освітлюючі. Перші призначені для розділення висококонцентрованих суспензій із середньозернистою твердою фазою, коли чистота фугату не лімітується, але необхідно забезпечити високу продуктивність за осадом та низьку його вологість. Другі використовують для очищення розчинів від високодисперсних часток при малій їх концентрації, а також для класифікації матеріалів за дисперсністю та густиною. Комбіновані центрифуги поєднують в собі два або більше принципів розділення суспензій.

За характером протікання процесу центрифуги ділять на апарати періодичної та безупинної дії.

За конструктивними ознаками центрифуги поділяють на центрифуги з горизонтальним і вертикальним розташуванням валу. Серед центрифуг з вертикальним розташуванням валу найбільш поширені підвісні і маятникові.

За способом вивантаження осаду розрізнюють центрифуги з вивантаженнями: ручним, ножовим, пульсуючим поршнем, виштовхуючим поршнем, шнековим, механіко-пневматичним та інш. Ручне вивантаження може проводитися через борт і днище ротора. Вивантаження через днище використовують на маятникових і підвісних центрифугах, через борт тільки на маятникових. Ножове вивантаження застосовують на механізованих маятникових, підвісних центрифугах, а також на горизонтальних центрифугах періодичної дії. На маятникових центрифугах застосовують також комбінацію ножового і пневматичного вивантаження, так званого механо-пневматичного. Принцип його полягає в тому, що осад, який зрізається шкребачкою, підхоплюється і відсмоктується з ротора струменем повітря. Вивантаження пульсуючим поршнем використовують тільки на фільтруючих центрифугах безупинної

дії, де завантаження суспензії проводять безперервно, а вивантаження осаду за рахунок зворотно-поступального руху поршня здійснюють циклічно, окремими порціями. Шнекове вивантаження осаду здійснюється внаслідок різниці частот обертання ротора і розташованого всередині нього шнека. Цей спосіб застосовують в осаджувальних, а також в фільтруючих центрифугах безупинної дії.

Позначають центрифуги виходячи з вищенаведеної класифікації таким чином. Попереду буквених позначень стоять цифри, вказуючі на конструкцію ротора: цифра перед рискою одинарний або здвоєний ротор, цифра за рискою - число каскадів ротора. Перша буква вказує на принцип розділення суспензії (Ф — фільтруюча центрифуга, О — відстійна або освітлююча, Р — розділяюча, Д — комбінована), друга — на основну конструктивну ознаку (Г — горизонтальна, П — підвісна, М — маятникова і, третя — на спосіб вивантаження осаду (Б — ручна через борт, Д — ручна через днище, Н — ножова, Ш — шнекова, П — поршнева). Число за буквами показує максимальний внутрішній діаметр ротора (см), остання цифра не входить в його позначення, а показує виконання центрифуги (1 — негерметизована, 2 — негерметизована з вибухозахищеним обладнанням, 5 — із теплообмінною сорочкою. Наступна за числом буква означає конструкційний матеріал, контактуючий з продуктом, що обробляється: У — сталь вуглецева, Л — легована, К — корозійно-стійка, Т — титан, Г — гумове покриття і т. д. Остання цифра відповідає номеру моделі.

Наприклад, позначення ОГШ 353К-2 показує, що центрифуга осаджувальна, горизонтальна, з шнековим вивантаженням осаду, з максимальним діаметром ротора 350 мм, в герметизованому вибухозахищеному виконанні (3), з основними деталями з корозійно-стійкої сталі (12Х17Н13М3Т), модель друга. Центрифуга 2/2ФГП 2001У-1 — фільтруюча, горизонтальна, з виван-таженням осаду пульсуючим поршнем, з двокаскадним здвоєним ротором діаметром 2000 мм, в негерметизованому виконанні (1), з деталями з вуглецевої сталі, модель перша.

3.3.2. Конструкції центрифуг

Маятникові центрифуги являють собою апарати періодичної дії з вертикальним підвісним ротором, який самовстановлюється. Особливістю їх конструкції є нижнє розташування приводу і наявність трьохколонної кульової підвіски, яка забезпечує самовстановлення маси, що відхиляється від вертикальної осі. Завдяки цьому дані центрифуги нечутливі до нерівномірного розподілу матеріалу в роторі. До достоїнств цих центрифуг потрібно віднести також простоту конструкції, компактність, малу масу і низьку вартість. Застосовують їх для розділення суспензій зі середньо- і високодисперсною твердою фазою, широким інтервалом концентрацій і схильних до нерівномірного розподілу дисперсної фази при завантаженні. Найбільш ефективно використання цих машин в малотонажних виробництвах для отримання осадів з мінімальною вологістю.

У залежності від технологічного призначення центрифуги цього типу виконують фільтруючими та відстійними. Фільтруючі центрифуги виготовляють з ручним вивантаженням через борт ФМБ і через дно ФМД, а також з механізованим (ножовим) вивантаженням через дно ФМН (рис. 3.11). Ротор 3 прикріпляють до верхнього кінця вертикального валу, який обертається в підшипниках котіння, розташованих в корпусі 1 приводу. Привід центрифуги здійснюють від електродвигуна або гідроприводу через клинопасову передачу.

Фільтруючі центрифуги мають перфорований ротор, викладений зсередини дренажною й фільтруючою сітками або тканиною.

Суспензії середніх концентрацій подають в ротор звичайно через отвір в кришці кожуха на ходу машини. Суспензії високої концентрації з абразивною твердою фазою завантажують в нерухомий ротор до пуску центрифуги. Фільтрат і промивну воду відводять з кожуха через зливний штуцер 2. Зупинку ротора проводять гальмом після зупинки двигуна.

На цей час створені маятникові центрифуги з механізованим (нижнім і верхнім) вивантаженням осаду.

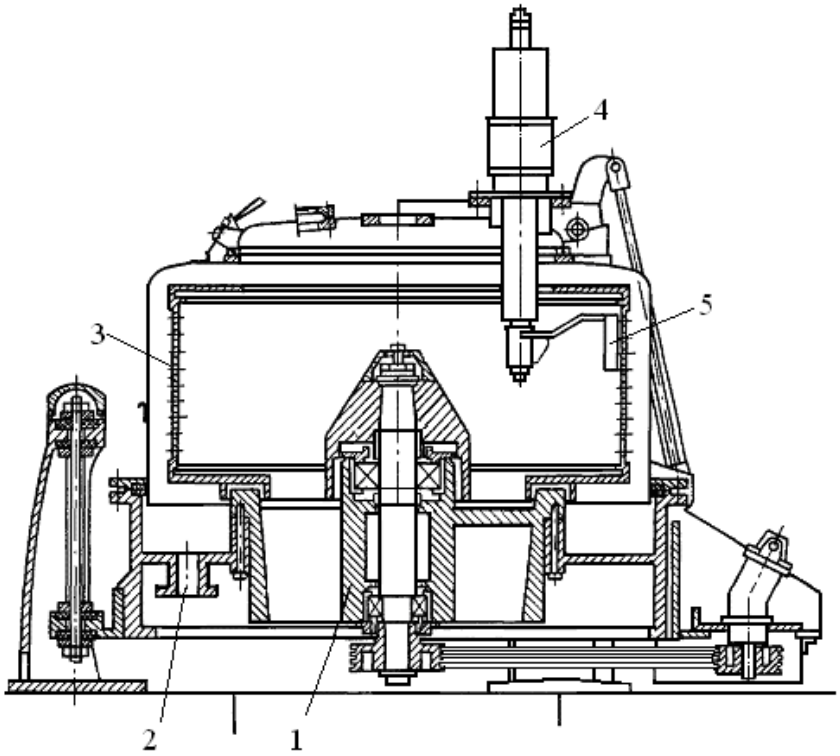


Рис. 3.11. *Центрифуга типу ФМН: 1 — корпус приводу; 2 — штуцер; 3 — ротор; 4— механізм зрізання осаду; 5 — ніж*

Центрифуга типу ФМН (див. рис. 3.11) має механізм зрізання осаду 4 зі зворотно-поступальним рухом ножа (шкребачки 5). Шкребачка, що знаходиться у верхньому положенні, при зрізуванні осаду спочатку повертається й врізається в осад на всю його глибину, потім рухається вниз до днища ротора. Осад, що зрізається, вивантажується через днище ротора. При такому способі вивантаження запобігається затирання (закупорка пор) осаду, що залишається на ситах після закінчення його вивантаження, і ніж сприймає менші зусилля. Використання механізму зрізання з широким поворотним ножем спрощує конструкцію центрифуги, оскільки ніж здійснює тільки один рух: поворот навколо осі, при якому осад зрізається по всій висоті ротора. Затирання осаду в цьому випадку можна зменшити за рахунок зрізання його при малих обертах ротора.

Застосування гідроприводів дозволяє виконувати основні технологічні операції (завантаження, віджимання, промивку, вивантаження) при різних оптимальних частотах обертання ротора. Проведення розвантаження при малих частотах обертання ротора особливо важливе, коли недопустиме руйнування кристалів осаду.

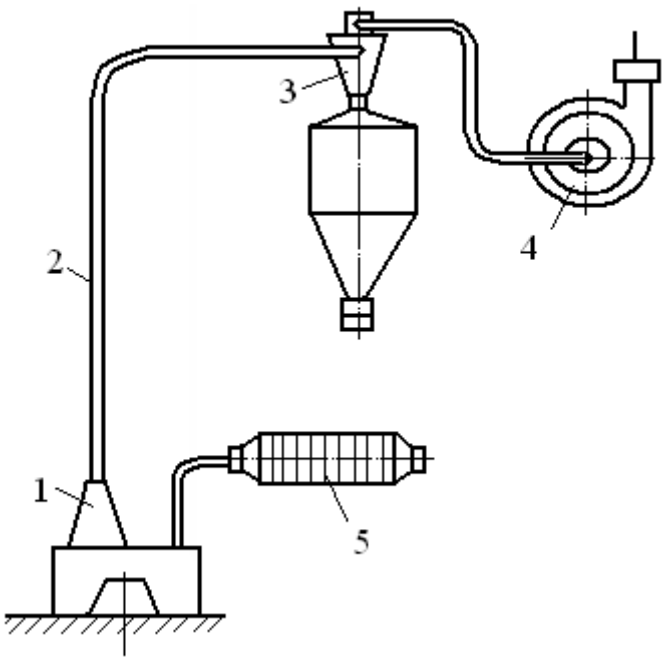


Рис. 3.12. Центрифуга типу ФМ з механо-пневматичним способом вивантаження осаду: 1 — розтруб; 2 — відвідна труба; 3 — циклон; 4 — вентилятор; 5 — калорифер

Вивантаження досить розсипчастих, не схильних до налипання на поверхню труб осадів з вологістю не більше за 10 % можна зробити механіко-пневматичним способом з одночасною їх підсушкою (рис. 3.12).

Основний елемент вивантажувального пристрою розтруб 1 труби, що відводить осад, 2 разом із шкребачкою повертається навколо вертикальної осі. Шкребачка врізається в осад і відкидає його в розтруб, де він підхоплюється гарячим повітрям і

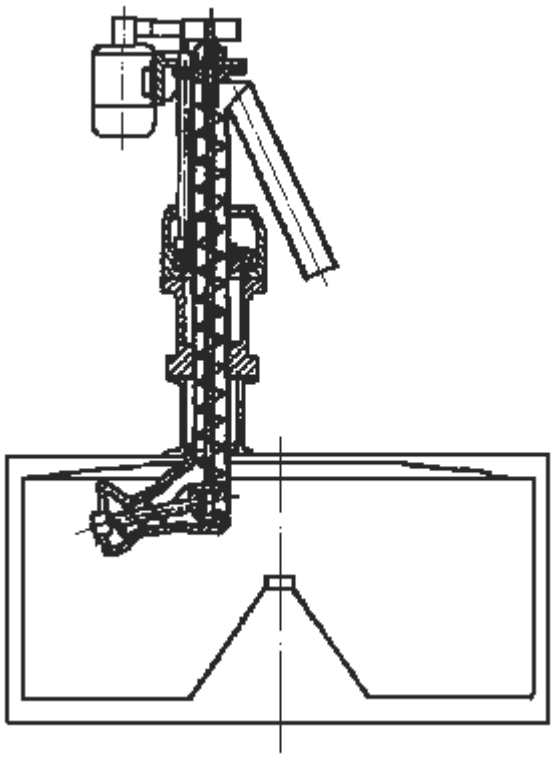


Рис. 3.13. Шнековий пристрій для розвантаження центрифуги типу ФМ

виноситься в циклон 3. Повітря в ротор засмоктується вентилятором 4 через калорифер 5.

Для вивантаження пастоподібних осадів може бути використано шнековий пристрій, показаний на рис. 3.13. Шнековий вивантажувач обладнаний шкребачкою, що має таку форму, завдяки якій зрізаний осад відкидається в приймальний пристрій шнеку. Обертальний рух нахиленому шнеку передається від вертикального через конічну шестерінчасту пару.

Осаджувальні центрифуги типу ОМ відрізняються від центрифуг типу ФМ тільки тим, що мають суцільний ротор і пристрій для відсмок-тування освітленої рідини. У роторі центрифуг типу ОМ (рис. 3.14) на внутрішній сто-роні обичайки вздовж створю-ючої приварюються ребра 5, що перешкоджають просли- занню суспензії. Механізм від-смоктування 7 дозволяє відво-дити рідину з різної відстані від стінки ротора. З допомогою гідромуфти 11 здійсню-ється плавний пуск ротора, що оберігає електродвигун від перевантажень.

Підвісні центрифуги. Особливістю їх конструкції є наявність шарнірної підвіски вертикального вала з ротором на нижньому кінці, яка забезпечує самоцентрування маси, що обертається. Завдяки цьому підвісні центрифуги нечутливі до нерівномірного завантаження ротора. Їх широко застосовують для обробки багатьох продуктів: сульфату амонію, хлориду натрію, борної кислоти, гідроксиду барію.

Для прикладу розглянемо центрифугу ФПН 1001У-1 (рис. 3.15). Основними вузлами її є ротор 13, привід 10, кожух з кришкою 12, гальмо 8 і металоконструкція 1. Електродвигун 6 з'єднаний з валом 11 центрифуги за допомогою еластичної гумової муфти 7. Вал в приводі закріплений на шарнірній опорі (поверхня корпусу підшипників 4 в місці стикання з корпусом приво-ду 5 має кульову форму). Між корпусом приводу і корпусом

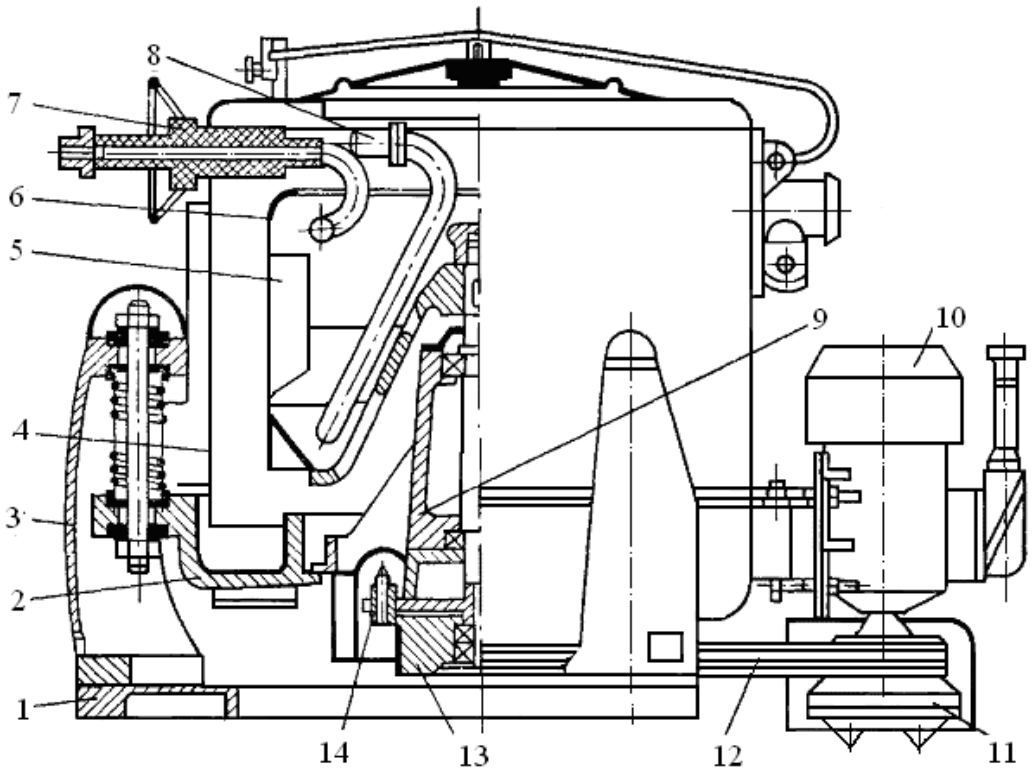


Рис. 3.14. Центрифуга типу ОМД: 1 — фундаментна плита; 2 — станина; 3 — опорні колонки; 4 — кожух; 5 — ребра; 6 — суцільний ротор; 7 — механізм відсмоктування; 8 — завантажувальний пристрій; 9 — опора ротора; 10 — електродвигун; 11 — гідромуфта; 12 — клинопасова передача; 13 — шків приводу; 14 — гальмо

підшипників встановлений гумовий амортизатор 9, завдяки пружній деформації якого вал може відхилятися від вертикального положення і тим самим забезпечувати самоврівноваження маси, що обертається. Ротор центрифуги циліндричний з перфорованою обичайкою, всередині викладений дренажним і фільтровальним ситами.

Завантаження центрифуги проводять при знижених обертах ротора за допомогою спеціального лотка 2, який закріплений на кожусі та входить всередину ротора. Вивантаження здійснюють при малих обертах за допомогою механізму зрізування осаду 3, устрій і принцип дії якого такий же, як і в центрифугах типу ФМН. Рідина відводиться через розташований внизу кожуха штуцер.

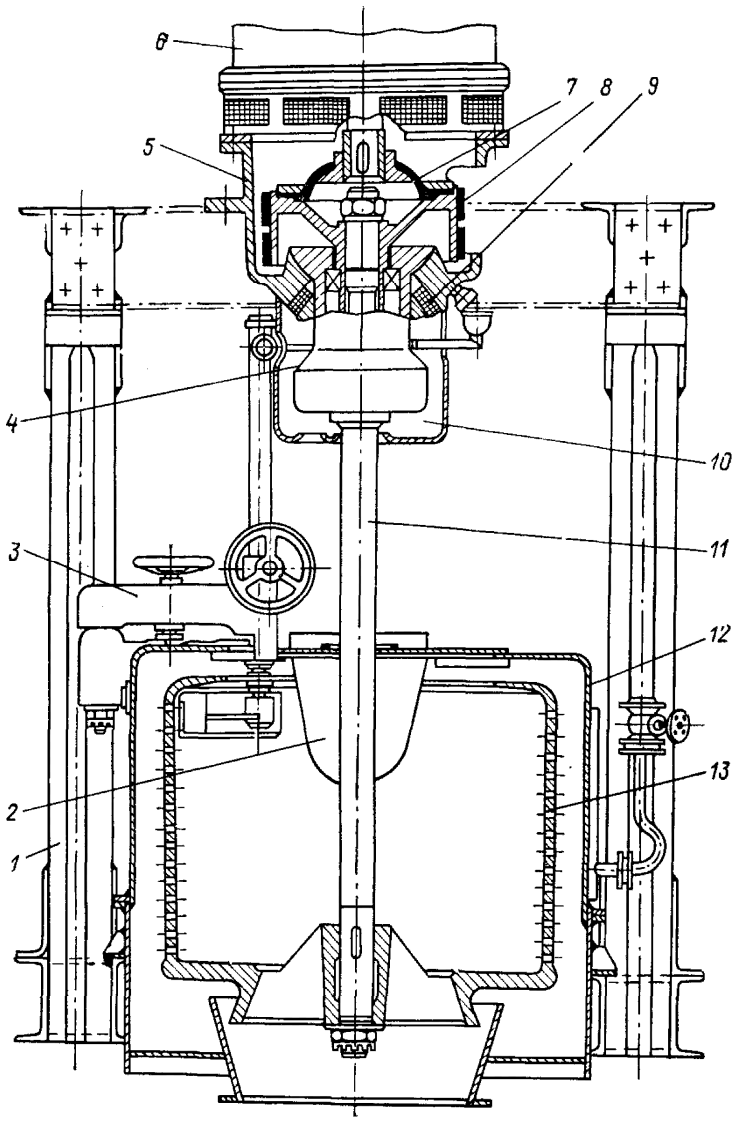


Рис. 3.15. Підвісна центрифуга: 1 — металоконструкція; 2 — лоток; 3 — механізм зрізування осаду; 4 — корпус підшипників; 5 — корпус приводу; 6 — електродвигун; 7 — муфта; 8 — гальмо; 9 — амортизатор; 10 — привід; 11 — вал; 12 — кожух з кришкою; 13 — ротор

Управління центрифугою напівавтоматичне, здійснюване від станції управління через кнопковий пост.

Центрифуги ФПД за конструкцією аналогічні центрифугам ФПН. Відмінність полягає лише в тому, що в центрифугах ФПД

немає механізму зрізування осаду, а є запірний конус, який закриває вивантажувальний отвір ротора і тим самим запобігає попаданню невідфільтровуваного продукту в бункер. Крім того, запірний конус забезпечує рівномірний розподіл суспензії по стінці ротора. Він вільно ковзає по валу, і при вивантаженні осаду його підіймають вгору й закріпляють на спеціальному гачку.

Центрифуги типу ФПС призначені для фільтрування суспензії, що дають середньо- і грубозернисті осади хорошої сипкості. Нижня частина обичайки ротора цих центрифуг виконана у вигляді конусу. Вивантажувальний отвір ротора закривається конусом, який механічно підіймається. При зупинці центрифуги осад під дією сили тяжіння сповзає вниз по похилій стінці обичайки. Таким чином запобігається подрібнення кристалів при вивантаженні з ротора. Додатково центрифуги можуть бути забезпечені трубою з форсунками (для подачі промивної води) та датчиком рівня завантаження.

Центрифуги типу ОПН мають циліндричний суцільний ротор. Суспензія на його днище подається на повному ходу центрифуги, під дією відцентрової сили вона тече вгору, вздовж стінок ротора, поступово заповнюючи його. Надлишок освітленої рідини переливається через борт ротора в кожух або відсмоктується по відвідній трубці. Завдяки цьому в роторі постійно підтримується певний рівень рідини. У бункер осаду рідина не стікає, оскільки діаметр отвору, що утворюється кільцевим бортом, більше діаметра отвору в днищі.

Горизонтальні центрифуги з ножовим вивантаженням осаду так само, як і підвісні та маятникові, є апаратами періодичної дії. Фільтруючі центрифуги ФГН застосовують для розділення суспензій з розмірами часток більше за 30 мкм, коли допускається їх дроблення. Основна перевага цих центрифуг полягає в можливості проведення всіх стадій процесу в автоматичному режимі при постійній частоті обертання ротора, недоліки в подрібненні кристалів при зрізанні осаду та труднощі регенерації фільтруючої перегородки при обробці суспензії з нерозчинною твердою фазою.

У центрифугах типу ФГН (рис. 3.16) суспензія через завантажувальний клапан 7 і живильник 10 подається в ротор 5, укладений в кожусі 4 центрифуги. Дозування суспензії здійснюється регулятором 6, що дозволяє проводити завантаження до отримання шару осаду заданої товщини. Після завантаження ротора проводять віджимання (просушування) твердої фази, а потім промивку продукта водою, яка поступає через промивальний клапан 9. Після закінчення промивки повторюють операцію просушування.

Наступною є операція розвантаження. Мастилонасосна станція 14 подає мастило через блок електрогідравлічних золотників 11 під поршень гідравлічного циліндра 3 механізму зрізування. Шток поршня поступово підіймає раму ножа 2. Осад зрізається ножем, зсипається в жолоб 1 і виводиться з центрифуги. Залишковий шар осаду видаляють шляхом

промивки (регенерації) фільтруючої основи водою, яка подається через клапан регенерації 8.

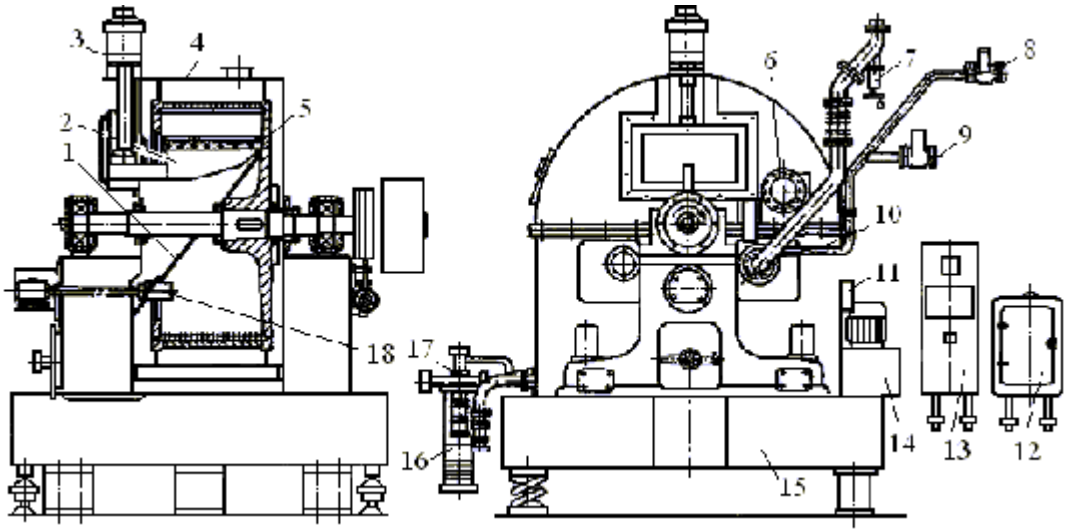


Рис. 3.16. Центрифуга типу ФГН: 1 — жолоб; 2 — ніж; 3 — гідравлічний циліндр механізму зрізування; 4 — кожух центрифуги; 5 — ротор; 6 — регулятор дозування суспензії; 7 — завантажувальний клапан; 8 — клапан регенерації; 9 — промивний клапан; 10 — живильник; 11 — блок електрогідравлічних золотників; 12 — станція автоматичного керування; 13 — пульт керування; 14 — мастилонасосна станція; 15 — віброізолюючий пристрій; 16 — сільфони; 17 — розподільчий клапан; 18 — вібратор

Фільтрат, промивна вода і рідина регенерації по черзі відводяться з центрифуги через розподільчий клапан 17.

Тривалість всіх операцій контролює реле часу, встановлене на станції автоматичного управління 12. Програма тривалості та черговості операцій задається на пульті управління 13. Мастило в гідросистему автоматики та в систему змащування підшипників подається мастилонасосною станцією. Розподіл подачі мастила до гідроцилиндрів завантажувального, промивного, розподільчих

клапанів, клапана регенерації, регулятора завантаження та механізму зрізування здійснює блок електрогідравлічних золотників 11.

З метою зменшення вібраційного впливу на підмурівок центрифугу встановлюють на віброізолюючий пристрій 15. Трубопроводи, якими відводять рідину, приєднуються до центрифуги через гнучкі з'єднання (сильфони) 16. Для полегшення вивантаження осаду жолоб 1 забезпечений вібратором 18.

Для зрізування осаду в горизонтальних центрифугах застосовують три типи механізму вивантаження: зі зворотно-поступальним і поворотним рухом шкребачки, з широким ножем, який переміщується радіально, з широким поворотним ножем. Найбільше поширення отримав механізм зрізування з широким поворотним ножем завдяки простоті своєї конструкції.

Вивантаження осаду механізмом зрізування зі зворотно-поступальним і поворотним рухом шкребачки здійснюється так само, як і в маятниковій центрифузі.

Центрифуги типу ОГН мають суцільний ротор. У залежності від способу відведення освітленої рідини з ротора розрізнюють центрифуги з переливом фугата через борт і без переливу. В першому випадку освітлена рідина переливається через борт і видаляється з кожуха центрифуги через штуцер, розташований в нижній частині корпусу. При заповненні ротора осадом завантаження центрифуги припиняється, проводиться відсмоктування шару рідини, що залишився над осадом, і

вивантаження осаду за допомогою механізму зрізування. В другому випадку завантаження центрифуги припиняється після заповнення ротора суспензією, рівень якої контролюється сигналізатором рівня. Освітлена рідина відводиться з ротора за допомогою труби відсмоктування.

Центрифуги типу ФГН і ОГН виконують: а) з розташуванням ротора між опорами; б) зі здвоєним ротором, розташованим між опорами; в) з консольним розташуванням ротора (рис. 3.17). Останні виготовляють з діаметром ротора до 1700 мм.

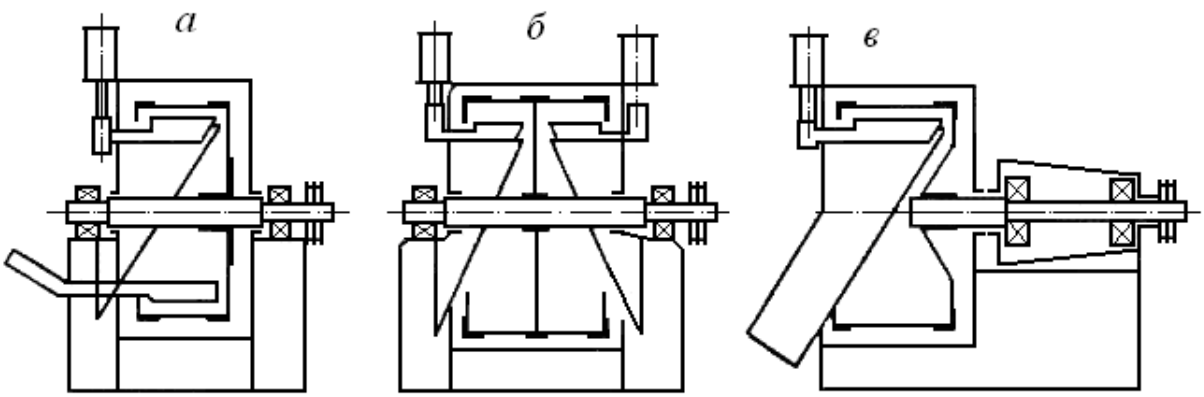


Рис. 3.17. Схема розташування роторів центрифуг типу ФГН: а — між опорами; б — здвоєний ротор між опорами; в — консольне розташування

Горизонтальні центрифуги з пульсуючим вивантаженням осаду призначені для розділення концентрованих суспензій з частками розміром більше за 0,1 мм. Оптимальне значення масової долі твердої фази в суспензії становить 40—50 %. Центрифуги цього типу можна використовувати для фільтрування

таких продуктів, як сульфати амонію й натрію, хлорид натрію, карбонат калію.

Достоїнствами пульсуючих центрифуг є безперервність процесу й висока продуктивність за низької питомої витрати енергії, відносно мале дроблення кристалів, хороший ступінь обезводнення осаду; недоліками — підвищене винесення твердої фази з фільтратом, низька стійкість сит при обробці абразивних матеріалів.

Пульсуючі центрифуги можуть бути одно-, дво- і багатокаскадними. Загальною конструктивною ознакою однокаскадних центрифуг є наявність всередині ротора виштовхувача, що здійснює зворотно-поступальний рух і просуває осад вздовж сит до вивантажувального краю ротора. У двокаскадних центрифуг зворотно-поступальний рух здійснює внутрішня обичайка ротора (перший каскад).

Конструкція двокаскадної пульсуючої центрифуги показана на рис. 3.18.

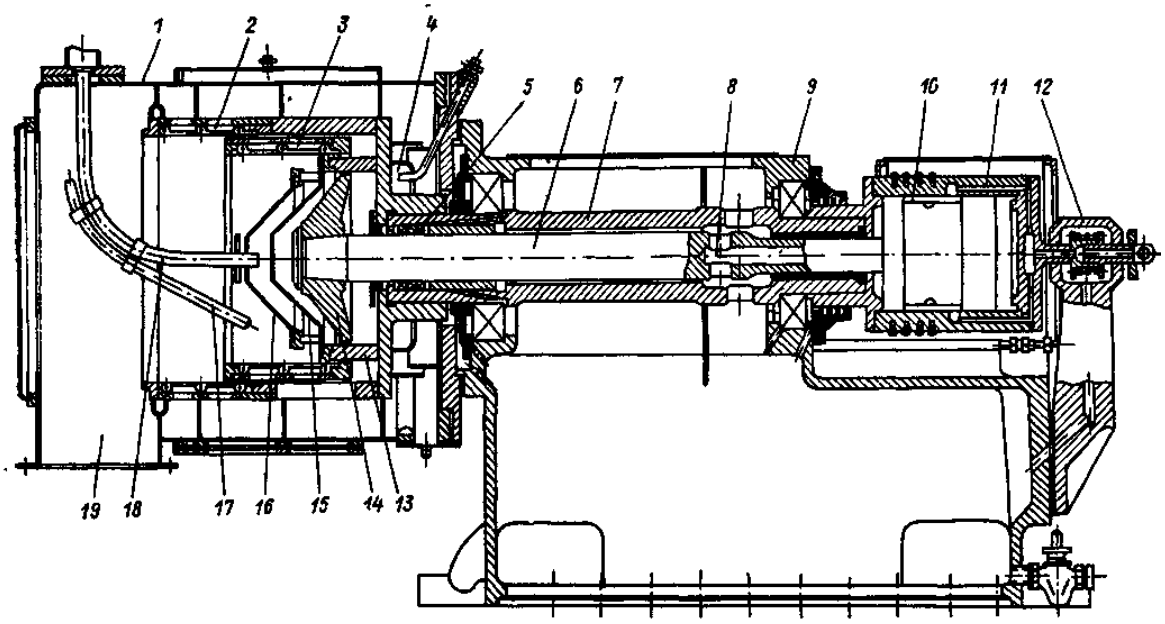


Рис. 3.18. Двокаскадна пульсуюча центрифуга: 1 — кожух центрифуги; 2 — зовнішня обичайка ротора; 3 — внутрішня обичайка ротора; 4 — кільцевий жолоб; 5 — спеціальне ущільнення; 6 — шток; 7 — вал; 8 — канал; 9 — станина; 10 — поршень гідроциліндра; 11 — стакан гідроциліндра; 12 — торцова муфта; 13 — стояки днища ротора; 14 — диск виштовхувача; 15 — захисний конус; 16 — прийомний конус; 17 — труба промивання осаду; 18 —труба подачі суспензії; 19 — приймач сухого осаду

Центрифуга зібрана на станині 9, відлитій з чавуну. На одному кінці валу 7 закріплене днище із зовнішньою обичайкою ротора 2, на другому встановлений стакан гідроциліндра 11, який одночасно є привідним шківом. На одному кінці штоку 6, який входить всередину ротора, змонтований диск виштовхувача 14 із внутрішньою обичайкою ротора 3, на іншому — поршень гідроцилиндра 10. Внутрішня обичайка 3 утворює перший, а зовнішня 2 другий каскад ротора. Кожух центрифуги 1 закріплений на фланці станини. Передня частина кожуха є приймачем 19 сухого осаду. Всередині кожух поділений

вертикальними перегородками, перешкоджаючими змішуванню фільтрату з промивними водами. В нижній його частині є штуцер, який слугує для роздільного відведення промивних вод та фільтрату. У верхній частині кожуха закріплена труба 18 подачі в ротор суспензії і труба 17 промивки осаду. Мастило в гідроциліндр центрифуги подається від мастилонасосної станції трубопроводом через торцову муф-ту 12, а скидається з нього у внутрішню порожнину станини, в якій змонтований змійовик для охолоджуючої води, через канал 8, просвердлений по осі штока. Для запобігання попаданню мастила в ротор шток має спеціальне ущільнення 5. Найважливішим вузлом центрифуги є ротор. До восьми стояків днища ротора 13, що проходять через овальні отвори диску виштовхувача, за допомогою болтів кріпляться захисний конус 15 з опорним кільцем, до якого приєднується конус 16. Обичайки перфоруються великими овальними отворами. Всередину їх вставляються щілевидні колосникові сита, які з торця закріпляються притискними кільцями.

Суспензія, що подається в центрифугу, під дією відцентрової сили рівномірно стікає внутрішньою поверхнею приймального конусу 16 на поверхню сит каскаду. При русі внутрішньої обичайки ліворуч осад на ситах другого каскаду притискним кільцем зсувається і частково скидається в приймач сухого осаду. При русі внутрішньої обичайки праворуч осад, що знаходиться на ситах першого каскаду, наштовхується на опорне кільце конусу 15 і зсувається на сита другого каскаду. Шток виштовхувача робить на хвилину 25—45 подвійних ходів. У

кільцевий жолоб 4, приварений до днища ротора, трубопроводом подається вода. Під дією відцентрової сили через отвори в днищі та його стояках вода поступає в тильну порожнину ротора, промиваючи її і запобігаючи заростанню опорного кільця, диска виштовхувача та стояків кристалами.

Промисловість випускає дво-, чотири- і шестикаскадні центрифуги. За однакового фактору розділення двокаскадні центрифуги мають на 10—20 % більшу продуктивність, ніж однокаскадні. Останні сучасною промисловістю не виготовляються. В виробництві неорганічних речовин в основному застосовують двокаскадні центрифуги як більш надійні та прості за конструкцією. Для великотонажних сольових виробництв створена здвоєна двокаскадна пульсуюча центрифуга 2/2 ФГП 1201К-1. Продуктивність її складає при розділенні суспензії хлориду калію 30—40 т/год (в залежності від розміру кристалів і кінцевої вологості продукту).

Осаджувальні горизонтальні центрифуги з шнековим вивантаженням осаду є апаратами безупинної дії (рис. 3.19).

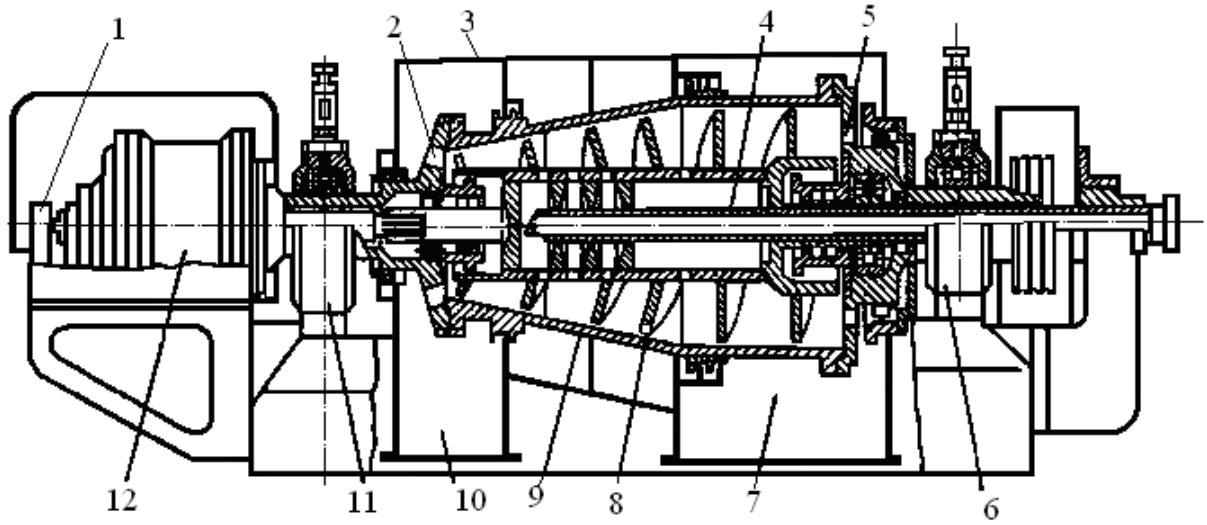


Рис. 3.19. Центрифуга типу ОГШ: 1, 6, 11 — опори; 2 — вивантажувальні вікна; 3 — кожух; 4 — живильна труба; 5 — зливальні вікна; 7, 10 — штуцери; 8 — шнек; 9 — ротор; 12 — редуктор

Їх загальна конструктивна ознака це горизонтальне положення неперфорованого циліндро-конічного чи конічного ротора 9 зі співосно розташованим всередині нього шнеком 8. Ротор і шнек обертаються в одному напрямі, але з різними швидкостями. Завдяки цьому осад, який утворюється, переміщується шнеком вздовж ротора. Останній розташований на двох опорах 6, 11 і приводиться в обертання від ротора центрифуги через планетарний редуктор 12. Ротор закритий кожухом 3, що має штуцери 10 і 7 для відведення відповідно осаду та фугату.

Суспензія живильною трубою подається у внутрішню порожнину шнеку, звідки через вікна обичайки поступає в ротор. Під дією відцентрової сили частки твердої фази (осад) осідають на стінках ротора. Осад транспортується шнеком до вивантажувальних вікон 2, а освітлена рідина тече в

протилежному напрямку до зливних вікон 5. В залежності від поєднання напрямів руху в роторі осаду й рідини розрізнюють центрифуги протитечійні та прямотечійні.

Технологічний режим в центрифугах типу ОГШ можна регулювати, змінюючи швидкість подачі суспензії, частоту обертання ротора та діаметр зливного порогу. Останній можна змінювати за допомогою змінних заслінок, а частоту обертання ротора шляхом зміни привідних шківів.

Центрифуги типу ОГШ застосовують для розділення суспензії з об'ємною долею твердої фази від 1 до 40 % і розміром часток більше за 5 мкм. Різниця густини твердої й рідкої фаз повинна бути більше за 200 кг/м^3. Центрифуги цього типу можна використати також для класифікації суспензій за величиною твердих часток. У залежності від технологічного призначення їх умовно поділяють на 3 групи: 1) освітлюючі та класифікуючі; 2) зневоднюючі; 3) універсальні.

Освітлюючі й класифікуючі центрифуги мають однакове конструктивне виконання й відрізняються тільки призначенням. Вони характеризуються високими значеннями фактора розділення (>2400), відношення довжини ротора до діаметра (>2,2), продуктивності за суспензією. Зневоднюючі центрифуги використовують для розділення висококонцентрованих грубих суспензій. Фактор розділення цих центрифуг до 3140, відношення довжини ротора до діаметра менше за 1,8.

Достоїнствами центрифуг типу ОГШ є: висока продуктивність за малих габаритів, безупинність процесу, можливість використання їх для обробки тонких суспензій різної концентрації. Недоліки: неможливість промивки осаду в машині,

порівняно швидке зношування шнека й ротора, невисокий ступінь зневоднення осаду (вологість його приблизно така ж, як після фільтрування на барабанних вакуум-фільтрах). Технічні характеристики деяких центрифуг наведені в табл. 3.2.

3.3.3. Розрахунок ротора центрифуги

Ротор центрифуги — найважливіша деталь, яка визначає надійність та безпечність експлуатації машини. Ротори являють собою обичайки циліндричної або конічної форми, закріплені в краях. Через це розрахунок роторів потрібно виконувати з урахуванням крайових сил та моментів, які виникають в містах закріплення.

Таблиця 3.2. **Технічні характеристики деяких центрифуг**

Типорозмір	Завантаження (кг) або продуктивність * (кг/год)	Місткість ротора, $дм^3$	Частота обертання ротора, об/хв	Фактор розділення	Потужність приводу, кВт **	Маса, кг
ОМБ 601К	90	45	1520	800	2,8	—
ФМД 801 У	180	80	1250	700	4,0	—
ФМБ 1501К	400	350	730	450	10,0	—
ОПН 1005У	320	215	1500	1180	40,0	4160
ФПД 1202Т	450	300	1000	620	20,0	3342
ФПС 1253К	500	430	1000	700	100,0	10720
ОГН 903К	140	125	1500	1130	32(1,7)	11610
ФГН 903К	140	125	1500	1130	32 (2,2)	11610

ОГН 1801К	1000	850	720	520	55 (2,2)	15496
2ФГН 2201У	3500	2750	600	445	125 (2,2)	29540
ОГШ 202К	100	—	6000	4000	5,5	790
ОГШ 1203К	14000	—	800	430	90 (0,6)	14200
1/2ФГП 401К	1000	—	1000	225	10(4)	4875
1/2ФГП 1201Т	13000	—	750	400	40 (40)	—
2/2ФГП 1201 К	45000	—	700	330	75 (55)	—

* Максимальне завантаження ротора дане для центрифуг періодичної дії. Для центрифуги типу ФГП приведена продуктивність за сульфатом амонію та внутрішній діаметр першого каскаду ротора, для центрифуг типу ОГШ - розрахункова продуктивність за осадом.

** У дужках вказана потужність електродвигуна насоса подачі мастила

При цьому враховують що:

1. Виникнення крайового ефекту в обичайці ротора залежить від сумісного впливу густини центрифугованого продукту, швидкості обертання ротора, величини мембранних напруженостей та співвідношення між товщиною днища й обичайки.

2. Із двох роторів, які працюють за одинакових напруженнь σ_t, крайовий ефект буде менший у того ротора, в якого швидкість обертання , густина завантаження та відношення товщини днища до товщини обичайки більші.

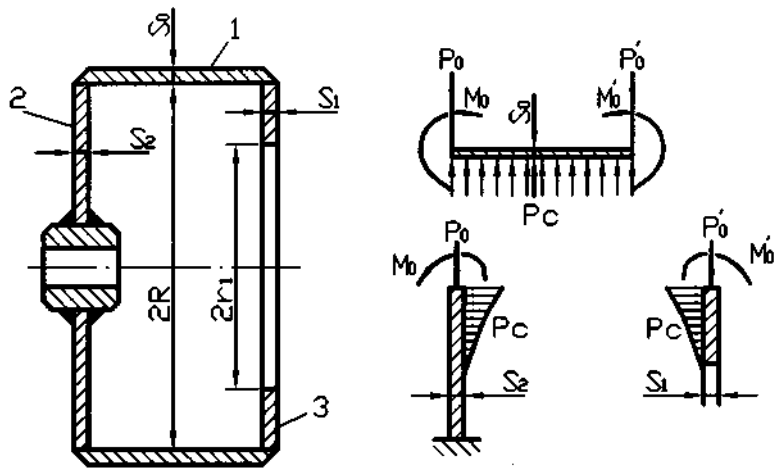


Рис. 3.20. Розрахункова схема ротора центрифуги: 1 — циліндрична обичайка; 2 — плоске днище; 3 — запірне кільце

3. Збільшення мембранних напружень σ_t (до деякої міри) підвищує крайовий ефект.

4. При постійних значеннях густини завантаження, швидкості обертання, та відношення товщини днища до товщини обичайки, а також при одинакових мембранних напруженнях σ довжина зони впливу краю пропорційна величині радіуса ротора.

5. Для ліквідації крайового ефекту в зоні впливу краю товщина обичайки повинна бути змінною зі зміною від "мембранної" товщини S в кінці зони до товщини S_o на початку зони (краю обичайки).

Існує два методи розрахунків — уточнений та наближений (прикладний) [4].

Уточнений складний і його рекомендується застосовувати коли необхідно розраховувати обичайку конічного або циліндричного ротора з днищем складної конфігурації, а також

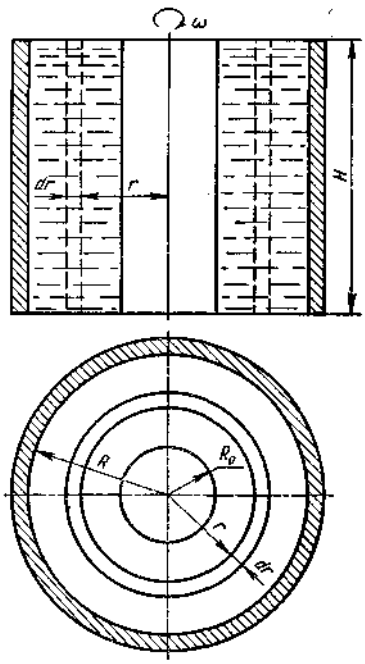
коли [σ] < 120 МПа. Прикладний коли товщину основної частини обичайки S визначають за мембранною теорією, а величину потовщення на краю S_o/S та довжину потовщеного краю x_o — за наближеними формулами.

Приклад розрахунку ротора центрифуги АОГ-1800 на міцність за прикладним методом.

Вихідні дані:

1. Внутрішній радіус ротора — R = 0,9 м
2. Внутрішній радіус шару завантаження — r_1 = 0,65 м
3. Число обертів ротора на секунду — n = 12
4. Густина матеріалу ротора — $\rho_o = 7{,}85 \cdot 10^3$ кг/м^3
5. Густина продукту центрифугування — $\rho = 1{,}65 \cdot 10^3$ кг/м^3
6. Допустима напруженість матеріалу ротора — [σ] = 120 МПа.

Для розрахунків розглядають циліндр, що швидко обертається, та визначають тиск , який рідина чинить під дією



відцентрових сил на стінки (рис. 3.21).

Рис. 3.21. Схема до розрахунку тиску на стінки ротора центрифуги

Відцентрова сила, яка діє на виділене кільце масою dm

$$dc = \omega^2 r dm.$$

Підставляючи масу кільця товщиною dr

$$dm = \rho\, 2\pi r H dr,$$

одержимо

$$dc = \rho\, \omega^2 2\pi r^2 H dr.$$

Тиск на одиницю поверхні виділеного кільця від сили dc

$$dp_c = dc/2\pi r H = \rho\, \omega^2 r dr.$$

Повний тиск на стінки циліндра, який виникає при обертанні кільця рідини товщиною $R - r_1$

$$P_c = \int_{r_1}^{R} \rho\omega r dr = \frac{\rho\omega^2}{2}\left(R^2 - r_1^2\right).$$

Якщо застосувати вираз $\psi = \frac{R^2 - r_1^2}{R}$, то

$$P_c = \frac{\rho\omega^2}{2} R^2 \psi .$$

На стінку діє також відцентрова сила від обертання самої обичайки. Для одиниці площі її можна визначити формулою

$$q = \rho\, S\, \omega^2 R.$$

Повний діючий тиск $P = P_c + q$. Ротор розглядають як оболонку з внутрішнім тиском P й товщину обичайки визначають за формулою

$$S = \frac{R}{2} \frac{\lambda\psi\sigma_0}{[\sigma] - \sigma_0},$$

де

$$\lambda = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1{,}65 \cdot 10^3}{7{,}85 \cdot 10^3} = 0{,}21$$

$$\psi = \frac{R^2 - r_1^2}{R} = \frac{0{,}9^2 - 0{,}65^2}{0{,}9^2} = 0{,}478$$

$\sigma_0 = \frac{\rho_0 \omega^2 R^2}{g}$ — кільцева мембранна напруженість, що виникає в обичайці від дії відцентрових сил.

$\omega = 2\pi n = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 12 = 75{,}4$ 1/с — кутова швидкість

$$\sigma_0 = \frac{7{,}85 \cdot 10^3 \cdot 75{,}4^2 \cdot 0{,}9^2}{9{,}81} = 37 \text{МПа}.$$

Звідси товщина обичайки $S = \frac{0{,}9}{2} \cdot \frac{0{,}21 \cdot 0{,}478 \cdot 37}{120 - 37} = 0{,}02 \text{м}.$

Товщину обичайки на краю S_o визначають за емпіричною формулою

$$S_0 = \frac{S\rho}{(176 \cdot 10^{-4} V - 0{,}2)\rho - 6{,}6V} =$$

$$= \frac{0{,}02 \cdot 1{,}65 \cdot 10^3}{(176 \cdot 10^{-4} \cdot 67{,}8 - 0{,}2)1{,}65 \cdot 10^3 - 6{,}6 \cdot 67{,}8} = 0{,}0267 \text{м}$$

де $V = \omega R = 75{,}4$ 0,9 = 67,8 м/с.

Приймаємо $S_o = 0{,}028$ м.

Товщину суцільного днища потрібно вибирати рівною товщині обичайки на краю, але не менше 1,5S. В даному випадку $S_o/S = 0{,}028/0{,}02 = 1{,}4 < 1{,}5$. Через це приймаємо $S_2 = 1{,}5S = 1{,}5$? × 0,02 = 0,03 м.

Довжину потовщеної дільниці обичайки визначають за формулою

$$x_o = 5{,}05 \cdot 10^{-5} R\{1290 - [V - 54 + 9{,}5(10^{-3}\rho - 1)]^2 - 168(\beta - 1{,}5)\} =$$

$$= 5{,}05 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}9 \cdot \{1290 - [67{,}8 - 54 + 9{,}5(10^{-3} \cdot 1{,}65 \cdot 10^3 - 1)]^2 -$$

$$-168(1{,}5 - 1{,}5)\} = 0{,}049 \text{ м } (\beta = S_2/S = 1{,}5).$$

Приймаємо $x_o = 0{,}05$ м.

3.4. Апарати для промивання осадів

Апаратів, спеціально призначених для промивання осадів, немає. Для цієї мети служать звичайно апарати, використовувані для поділу суспензій (відстійники, фільтри, центрифуги).

Промивання осадів здійснюють із метою більш повного діставання рідкої фази (наприклад, у виробництві їдкого натру вапняним способом), або для одержання осаду високої якості, вільного від домішок (наприклад, у виробництві карбонату барію). Правильна організація процесу промивання осадів відіграє важливу роль у підвищенні якості одержуваного продукту.

Існує декілька методів промивання осадів: метод витиснення рідкої фази осаду промивною рідиною, метод розведення рідкої фази осаду промивною рідиною, метод дифузії рідкої фази осаду в промивну рідину. Останній метод використовують рідко й тільки в шнекових осаджувальних центрифугах. Промивною рідиною у виробництві неорганічних речовин звичайно слугує технологічна або демінералізована вода (в залежності від вимог, встановлених до якості продукту).

Промивка методом витиснення. Промивання осаду цим методом можна організувати в один або декілька ступенів на фільтрах і центрифугах періодичної та безупинної дії. Багатоступеневе промивання здійснюють звичайно на фільтрах безупин-ної дії.

Одноступеневе промивання осадів здійснюють на нутч-фільтрах, фільтр-пресах, листових і барабанних фільтрах, центрифугах безупинної та періодичної дії. Таке промивання застосовують, якщо осад грубозернистий і легко промивається, або якщо немає необхідності одержання промивних вод із високою концентрацією речовини , що витягається з осаду.

При промиванні осаду на фільтрах періодичної дії кількість промивної рідини (V_n, $м^3$), необхідної для зниження ступеня насичення m осаду фільтратом до заданого значення, можна визначити за рівнянням:

$$V_n = k_1 k_2 k_3 V_o \qquad (3.7)$$

Де k_1, k_2, k_3 — коефіцієнти, що враховують вплив відповідно в'язкості μ рідини, товщини $\delta_{ос}$ прошарку осаду й розміру часток $d_ч$; $V_о$ — об'єм фільтрату в порах осаду перед промиванням, $м^3$.

Чисельні значення k_1, k_2, k_3 в залежності від m, $d_ч$, μ і δ можна визначити за довідковою літературою. При складанні рівняння (3.7) умовно вважалося, що промивна рідина в порах осаду не змішується з фільтратом.

Рівняння, що відображує закономірність процесу промивання осаду на фільтрах безупинної дії, має вигляд:

$$R_m = (1 - m_1) \exp [- (m_2 - m_1)/(l - m_1)], \qquad (3.8)$$

де R_m — масова доля розчиненої речовини, яка залишилась в осаді після промивання (до промивання R_m = 1); m_1 — відношення об'єму промивної рідини, що надійшла в пори осаду на першій стадії промивання, до об'єму фільтрату в порах перед промиванням (значення m_1 визначаються експериментально);

$$m_2 = V_n/V_о.$$

З підвищенням температури промивної води осад краще відмивається від маточного розчину, оскільки при цьому зменшується в'язкість води і пришвидшуються дифузійні процеси.

У виробництві екстракційної фосфорної кислоти на карусельних і стрічкових фільтрах відмивають фосфогіпс. При цьому промивна рідина надходить на останній ступінь

промивання (рахуючи за рухом осаду) і зустрічається з майже відмитим осадом. З цього ступеня рідина, що містить речовину, яка витягується, (наприклад, H_3PO_4) в невеликій концентрації, направляється на попередній ступінь, де зустрічається з менш промитим осадом. У результаті цього концентрація речовини, що витягується, в промивній рідині зростає. Збільшення числа ступенів промивання призводить до скорочення витрати рідини і до більш повного відмивання осаду від маточного розчину.

Багатоступінчасте протитечійне промивання осаду методом витиснення можна виконувати на центрифугах.

Промивання методом розведення. При фільтруванні суспензій із дисперсними частками в прошарку осаду звичайно утворяться тупикові пори, із яких не можна витиснути фільтрат промивною рідиною.

У цьому випадку використовують метод розведення, який полягає в наступному. Осад репульпує (скаламучується) в промивній рідині, в результаті чого фільтрат, що утримується в тупикових порах, розводиться. Отриману суспензію знову піддають поділу. Цим способом промивають нерозчинні або малорозчинні осади, наприклад осади карбонатів барію, магнію або кальцію, гидроксидів алюмінію та магнію.

Промивання методом розведення здійснюють звичайно багатоступенево. При цьому розрізняють послідовне і протитечійне промивання.

Послідовне промивання доцільне в тому випадку, якщо промивна вода з розчиненою в ній речовиною не може бути

використана у виробництві, а до чистоти осаду надаються підвищені вимоги. Нариклад промивання сульфату барію демінералізованою водою.

На рис. 3.22 показана схема триступеневого послідовного промивання осаду з використанням барабанних вакуум-фільтрів. Осад, що утворився в попередньому апараті для поділу суспензій, спрямовується в репульпатор 1. Туди ж подається промивна вода. Отримана суспензія з репульпатора перекачується на фільтр першого ступеня, де розділяється на частково промитий осад, який направляється в репульпатор 2, і фільтрат, який видаляється трубопроводом. На фільтрі другого ступеня й у репульпаторі 3 відбуваються аналогічні операції. Остаточно промитий осад із фільтра третього ступеня подається в бункер або на транспортер. Промивні води трубопроводами надходять у збірник і далі направляються на станцію нейтралізації.

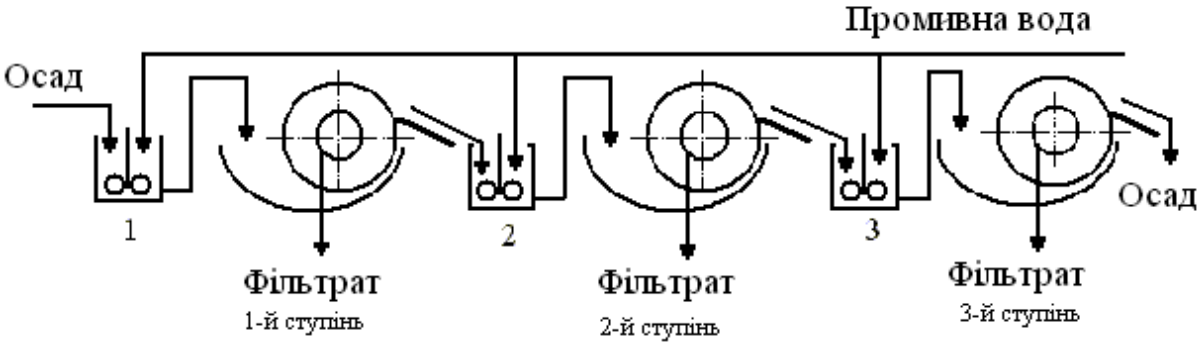


Рис. 3.22. Схема триступеневого послідовного промивання осаду: 1—2—3 — репульпатори

Якщо промивання проводити водою, що не містить речовини, яка витягується, а частку рідкої фази в осадах усіх ступенів прийняти однаковою, то процес можна описати такими рівняннями:

$$k = \lg(C_н / C_к)/\lg(m_З+1) \qquad (3.9)$$

$$W = G\,(\sqrt[к]{C_Н / C_к} - 1), \qquad (3.10)$$

де k — число ступенів промивання; $C_н$, $C_к$ — масові долі речовини, що витягується, в рідкій фазі відповідно у вихідного і промитого осадів (у долях одиниці); W — витрата промивної рідини, подаваної на один ступінь промивання, % від маси твердих часток; G — масова частка рідкої фази в осаді, % від маси твердих часток; $m_З = W/G$.

Значення G і $C_н$ знаходять експериментально або беруть за даними діючого виробництва, $C_к$ розраховують, виходячи з вимог до якості продукту. Задаючись числом ступенів промивання, можна визначити витрату промивної води і навпаки.

Загальну витрату промивної води для всіх ступенів визначають із виразу:

$$W = kW_i$$

Зі збільшенням числа степенів промивання зменшується витрата промивної води або за тіє ж витрати утворюється чистіший осад. Витрата води знижується (або підвищується чистота осаду за тіє ж витрати) із зменшенням вмісту рідкої фази в осаді.

Протитечійне промивання дозволяє одержати всю промивну рідину з достатньо високою концентрацією речовини, що витягується. На рис. 3.23 показана схема триступінчатого протитечійного промивання з застосуванням барабанних вакуум-фільтрів. Осад, який утворився в апараті для поділу суспензій, подається в репульпатор 1 першого ступеня промивання, куди надходить також промивна вода з фільтра другого ступеня. От-

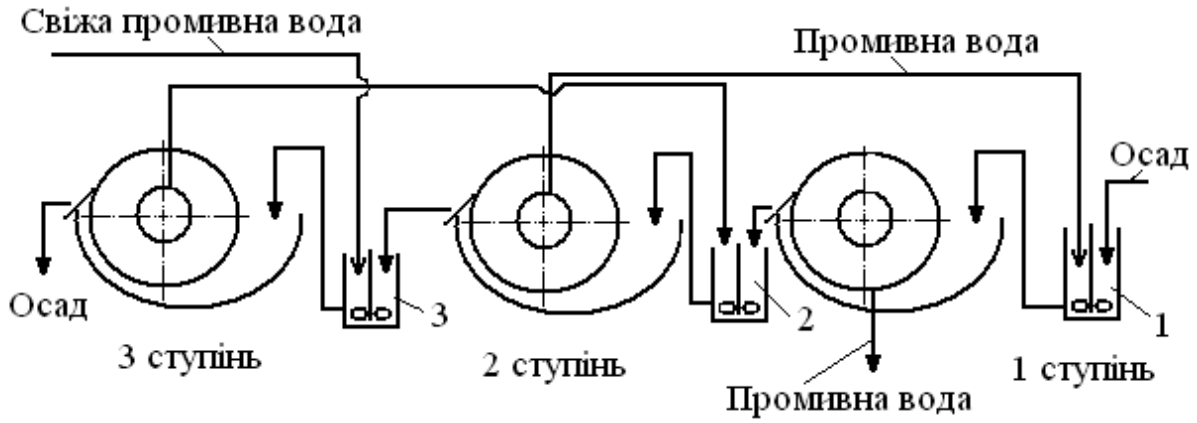


Рис. 3.23. Схема триступінчатого протитечійного промивання осаду: 1—2—3 — репульпатори

римана суспензія на фільтрі першого ступеня розділяється на осад, що подається в репульпатор 2, і фільтрат, який являє собою кінцеву промивну рідину з максимальною концентрацією

речовини, що витягається. В репульпаторі 2 осад суспензується в промивній рідині, яка надходить із фільтра третього ступеня. Отримана суспензія на фільтрі другого ступеня розділяється на осад, що надходить у репульпатор 3, і фільтрат (промивну воду), який спрямовується на суспензування осаду в репульпаторі 1. У репульпатор 3 подається свіжа промивна вода. Утворена тут суспензія розділяється на фільтрі третього ступеня промивання. Промивна вода надходить у репульпатор 2, а відмитий від маточного розчину осад вивантажується в бункер або на транспортер.

Із наведеної схеми очевидно, що осад, який промивається й промивна вода рухаються протитечійно, при цьому концентрація речовини, що витягується, в промивній рідині зростає (у напрямку від третього ступеня до першого), а в осаді зменшується (у напрямку від першого ступеня до третього).

Процес протитечійного промивання осаду методом розведення може бути розрахований за такими співвідношеннями:

$$C_{пк} = (C'_H - C'_K)/\varphi \qquad (3.11)$$

$$\varphi = W + G_H + G_K$$

$$m_4 = W/G_k; \quad C_k = C'_K /G_K \qquad (3.12)$$

$$k = \lg [C_{пк}/C_к (m_4 - 1) + 1]/\lg m_4, \qquad (3.13)$$

де $C_{пк}$ — массовая частка речовини, що витягується, в кінцевій промивній рідині, %, C'_H и C'_K — масова частка

речовини, що витягується, у вихідному й промитому осадах, % від маси твердих частинок; $G_Н$ і $G_К$ — масова частка рідкої фази у вихідному і промитому осадах, % від маси твердих частинок.

Зі збільшенням числа ступенів промивання той же рівень відмивання осаду утворюється за меншої витрати промивної води. При цьому $С_{пк}$ буде вище. За одного й того ж числа ступенів промивання збільшення витрати води підвищує якість осаду й зменшує значення $С_{пк}$.

Об'єм промивної води повиннен бути таким, щоб забезпечити достатню текучість суспензії при транспортуванні її трубопроводами. Це особливо важливо при обробці осадів високодисперсних суспензій, схильних до утворення тиксотропних систем. Наприклад, при 50 °С таку систему карбонат барію утворить за концентрації його в суспензії більше 35 %, а сульфат барію — більше 25 %.

Число ступенів промивання (або витрата промивної рідини), розраховане (або прийняте) за рівняннми (3.9)—(3.13) варто збільшити на 15—25 %, оскільки ці рівняння виведені для умов ідеального протікання процесу, без урахування наявності друзових кристалів, адсорбційної здатності твердих часток та нерівномірності перемішування суспензій.

Перевагою протитечійного промивання в порівнянні з послідовним є те, що однаковий рівень відмивання осаду від маточного розчину досягається за меншої витрати води (хоча число ступенів промивання зростає) і промивні води утворюються з великим вмістом речовини, яка витягується.

Останнє важливо не тільки для подальшої переробки, наприклад упарювання кінцевої промивної рідини, але і при спрямуванні її на шламові поля або станцію нейтралізації.

Для промивання осаду методом розведення можуть бути використаними не тільки фільтри, а й відстійники й осаджувальні центрифуги. Наприклад, протитечійному промиванню у відстійниках піддають шлам карбонату кальцію у виробництві їдкого натру вапняним способом, а у виробництві глинозему методом Байера — «червоний шлам». Але оскільки осад із відстійників виходить із високим вмістом рідкої фази, в цьому випадку потрібно більше число ступенів промивання, чим при використанні фільтрів або центрифуг типу ОГШ. Проте у випадку застосування центрифуг типу ОГШ варто рахуватися з винесенням твердої фази фугатом.

Багатоступеневе промивання методами витиснення й розведення. Цей вид промивання є поєднанням послідовних процесів витиснення й розведення при протитечійному русі осаду та промивної рідини.

На рис. 3.24 показана схема триступеневого протитечійного промивання осаду методами витиснення і розведення з застосуванням барабанних вакуум-фільтрів. Вихідна суспензія на барабанному вакуум-фільтрі 1 розділяється на фільтрат (потік I**)** і осад, що промивається на цьому ж фільтрі методом витиснення частиною промивних вод (потік III), які надходять із другого ступеня. Промивна рідина (потік II) із першого ступеня, в якому вміст речовини, що витягується дещо

нижче, чим у фільтраті (потік I), спрямовується на подальшу переробку, а осад подається в репульпатор 2, де суспензується водою (потік V) із третього ступеня й частиною промивної води (потік IV) із другого ступеня. Таким чином, частина промивної води другого ступеня циркулює всередині його між репульпатором і фільтром. Це пов'язано з тим, що для репульпації в одиницю часу потрібно більше рідини, чим може її профільтруватися через готовий прошарок осаду. Проте вміст речовини, що витягується, в суміші вод, які надходять на другий ступінь (потоки IV і V), завжди менше її вмісту в рідкій фазі осаду після першого ступеня промивання.

Отримана в репульпаторі 2 суспензія розділяється на наступному фільтрі 3 на осад і фільтрат (потік VII), що утворює потім два потоки (III і IV). Осад промивається (третій ступінь) на цьому ж фільтрі свіжою промивною водою (потік VI), яка, пройшовши прошарок осаду, утворює промивну рідину (потік V). Остаточно промитий осад вивантажується на транспортер або в бункер.

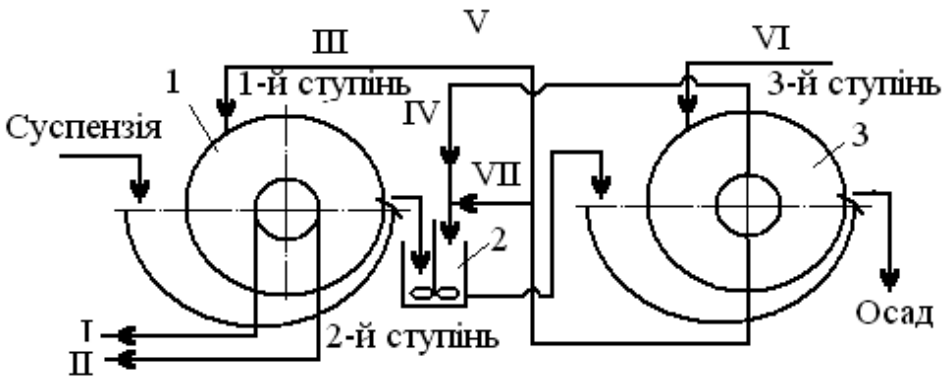


Рис. 3.24. Схема триступеневої промивки осаду методами витиснення і розведення: 1, 3 — вакуум-фільтри; 2 — регулятор; I —VII — потоки

З описаної схеми очевидно, що на першому та третьому ступенях осад промивається на фільтрах методом витиснення, а на другому ступені — методом розведення. Розглянутий метод дозволяє збільшити число ступенів промивання, не збільшуючи числа фільтрів, але схема при цьому ускладнюється.

3.5. Вибір апаратів для поділу суспензій

На вибір апарату для поділу суспензій впливають багато чинників. До основних із них відносять: властивості суспензії, умови процесу, призначення поділу, потужність виробництва і конструкційні матеріали. Наприклад, поділ суспензій, яка легко розшаровується, із високим відношенням Р/Т найкраще робити у відстійниках, особливо якщо рідина має низьку вартість, а осад є відходом виробництва. Для суспензій, що дають сильно стисливий осад, питомий опір якого збільшується з ростом тиску, а також для суспензій, осад яких має сильну адгезійну властивість, автоматизовані фільтр-преси та центрифуги не застосовуються. В цьому випадку доцільно користовувати барабанний вакуум-фільтр із стрічкою, що сходить , або з устроєм для зняття осаду шнурами. Густина твердої фази грає істотну роль при виборі осаджувальної центрифуги. Якщо різниця густин рідкої й твердої фаз значно менше 200 кг/м^3, то осаджувальні центрифуги для такої суспензії не застосовуються. В цьому випадку найприй
нятнішими будуть центрифуги типу ФПД або фільтри (в залежності від інших властивостей осаду та вимог до нього).

Вакуум-фільтри є дешевшим устаткуванням, чим ФПАКМ або центрифуги. Тому, якщо процес може бути здійснений під вакуумом, доцільно використовувати вакуум-фільтри.

Велике значення при виборі фільтрів мають вимоги до чистоти і концентрації фільтрату, чистоти та вологості осаду. З

найменшою вологістю осад утворюється на автоматизованих фільтр-пресах, а найкраще промивання осаду з одержанням концентрованих промивних вод досягаються на карусельному фільтрі. Тому при виборі апарату необхідно мати на увазі призначення й особливості його конструкції.

При виборі і розрахунку фільтрів за результатами лабораторних дослідів варто використовувати тільки такі дані, що отримані при умовах, які моделюють роботу фільтра даного типу. При цьому враховується, що поверхня лабораторного фільтруваль-ного елемента повинна бути не менше 100 $см^2$.

Значення швидкості фільтрування, отримане на лабораторній установці, при переході до промислового фільтру треба помножити на коефіцієнт запасу К, рівний добутку коефіцієнтів А, В и С. Коефіцієнт забивання тканини С визначають за результатами циклічних дослідів з фільтрування суспензії та регенерації тканини (10—15 циклів); він звичайно дорівнює 0,7—0,8. Коефіцієнт стабільності В знаходять із значення довірчого інтервалу експериментальних даних (довірча ймовірність призначається в залежності від потужності виробництва і складає 0,90—0,98). Значення масштабного коефіцієнта А вибирають (звичайно в межах 0,7—0,9) у залежності від масштабу експерименту (площі фільтрувальної поверхні), особливостей конструкції фільтра, властивостей суспензії й осаду.

Фільтруючі центрифуги, використовують, як правило, для поділу суспензій із грубозернистою розчинною твердою фазою. У виробництві великої потужності з високим рівнем автоматизації і механізації для поділу суспензій із розчинною твердою фазою з розміром часток більш 100 мкм найбільше підхожими є центрифуги типу ФГП. Осад, що утворюється в них, має низьку вологість і при розвантаженні не роздрібнюється. Ці центрифуги дають можливість промивати осад. Проте при їхньому виборі варто враховувати, що продуктивність залежить не тільки від розміру ротора, але і від виду оброблюваного осаду.

Наприклад, продуктивність центрифуги 1/2ФГП 801 К-2 при фільтруванні суспензії хлориду натрію складає 6 т/год, а при фільтруванні шеніту ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$) — 4 т/год (за одинакової вологості осаду). Зі зменшенням розміру часток і їхньої концентрації збільшується вологість осаду й винесення твердої фази з фільтратом (при Р/Т = 1,5 він досягає 15 %). Таку ж дію спричинює підвищення продуктивності центрифуги. Наприклад, у центрифузі ФГН 1801К при продуктивності 8 т/год осад хлориду калію утворюється з вологістю 3 %, а при продуктивності 10 т/год — 5 %.

При виборі центрифуг типу ФГП необхідно враховувати, що вони не забезпечують чіткого поділу фільтрату й промивних вод, а також те, що в них можливе витікання мастил у фільтрат.

Для виділення із суспензії нерозчинних часток із розмірами більш 5 мкм можна використовувати високопродуктивні відстійні центрифуги безупинної дії типу ОГШ. Вони можуть працювати в широких межах відношення Р/Т (1,5—20,0), але без промивання осаду; вологість його утворюється така ж, як і на барабанних вакуум-фільтрах (20—40 %), а винесення твердої фази з фугатом складає від 3 до 10 %.

Попередній вибір центрифуги роблять із урахуванням досвіду її використання в промисловості. При цьому досліджують властивості суспензії, оцінюють ефективність її поділу тим чи іншим методом. Остаточний вибір центрифуги може бути зроблений тільки після промислового випробування. За наявності декількох конкуруючих чинників виникає необхідність проведення порівняльних економічних розрахунків. Проведення такого розрахунку для поділу суспензій із промиванням і зневоднюванням є дуже складною справою. Крім урахування вартості всього устаткування і його обслуговування необхідно порівняння якості отриманого на різних апаратах продукту, можливих втрат продуктів, а також вартості його подальшої переробки (сушіння, кальцинації й т. д.).

Потужність виробництва визначає необхідний рівень механізації й автоматизації процесів поділу суспензій. Якщо в малотонажних виробництвах можливо застосування немеханізованих апаратів із ручним вивантаженням осаду, то в великотонажному виробництві це неприйнятно. Рівень механізації й автоматизації оцінюють за окупністю устаткування. Якщо потужність виробництва недостатня, щоб у визначений термін окупити устаткування, то його не застосовують. Бувають випадки, коли використання автоматизованого устаткування недоцільне з економічної точки зору, але диктується вимогами охорони праці та промислової санітарії.

Запитання і вправи для самоконтролю

1. Які існують апарати для поділу суспензій?
2. Що таке фактор форми часток?
3. Яким чином встановлюють об’ємну швидкість?
4. Поясніть устрій вертикального відстійника.
5. Поясніть особливості конструкції горизонтального відстійника, дайте його переваги перед вертикальним відстійником.
6. Для чого створенний чотирикамерний відстійник?
7. Поясніть призначення і типи фільтрувальних перегородок.
8. Які бувають фільтри?
9. На яких принципах грунтується дія вакуумного фільтра? Чому застосовують вакуум?
10. Висвітліть класіфікацію фільтрів для поділу суспензій.
11. Яка роль належить системі автоматики в фільтрах?
12. Які типи центрифуг застосовують для поділу суспензій?
13. Як визначають марки центрифуг?
14. Які методи розрахунку ротора центрифуги Ви знаєте?
15. Сутність промивання осаду методом витиснення.

Розділ 4. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗДРІБНЮВАННЯ, ПОМЕЛУ, КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ГРАНУЛЮВАННЯ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1. Теоретичні основи здрібнювання

Твердий матеріал можна зруйнувати і роздрібнити до часток бажаного розміру роздавлюванням, розколюванням, розламуванням, різанням, розпилюванням, стиранням, ударом і різними комбінаціями цих способів (рис. 4.1).

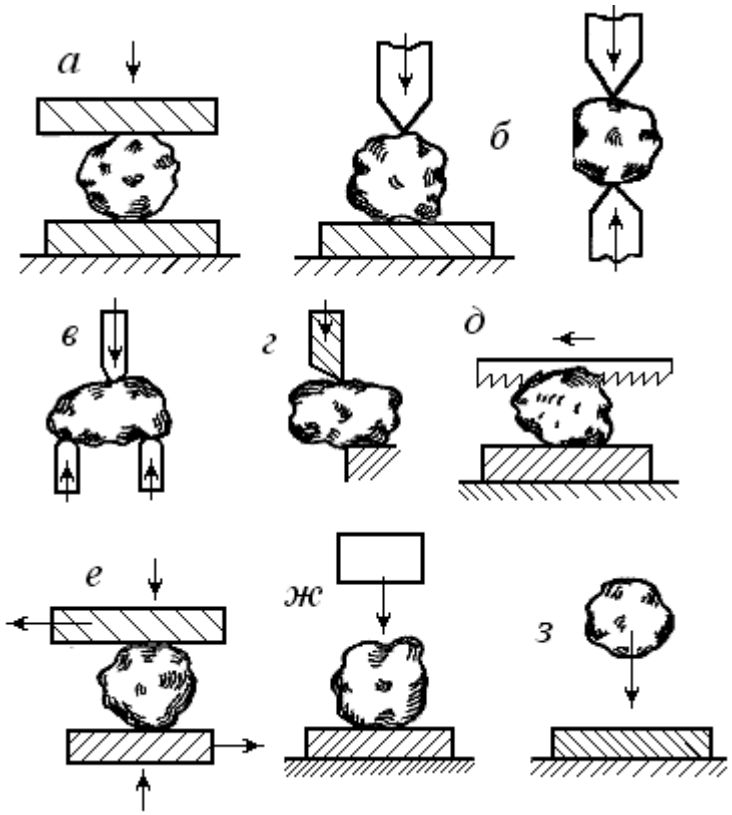


Рис. 4.1. Способи здрібнювання: *а* — роздавлювання, *б* — розколювання; *в* — розламування; *г* — різання; *д* — розпилювання, *е* — стирання; *ж* — стиснений удар; *з* — вільний удар

Роздавлювання — тіло під дією навантаження деформується у всьому об'ємі і, коли внутрішня напруженість в ньому перевищить межу міцності стиснення, руйнується. В

результаті такого руйнування одержують частки різного розміру та форми.

Розколювання — тіло руйнується на частини в місцях концентрації найбільших навантажень, переданих клиновидними робочими елементами здрібнювача. Частки, що утворяться при цьому, однорідніші за розмірами та формою, хоча форма, як і при роздавлюванні, непостійна. Спосіб розколювання в порівнянні з роздавлюванням дозволяє регулювати розміри одержуваних часток.

Розламування — тіло руйнується під дією згинаючих сил. Розміри і форма часток, що виходять при розламуванні, приблизно такі ж, як і при розколюванні.

Різання — тіло поділяється на частини заздалегідь заданих розмірів і форми. При ***розпилюванні*** результати виходять такі ж, як і при різанні. Процес цілком керований, і частки мають заздалегідь задані розмір та форму.

Стирання — тіло подрібнюється під дією стискаючих, розтягуючих та зрізуючих сил. При цьому одержують дрібний порошковидний продукт.

Удар — тіло розпадається на частини під дією динамічного навантаження. При зосередженому навантаженні результат, подібний тому, що відбувається при розколюванні, а при розподілі навантаження в усьому об'єму ефект руйнування аналогічний роздавлюванню.

Розрізняють руйнування тіла стисненим і вільним ударом. При стисненому ударі тіло руйнується між двома робочими органами здрібнювача. Ефект такого руйнування залежить від кінетичної енергії тіла, що вдаряє. При вільному ударі руйнування тіла настає в результаті зіткнення його з робочим органом здрібнювача чи іншими тілами в польоті. Ефект такого руйнування визначається швидкістю їхнього зіткнення незалежно від того, рухається тіло, яке руйнується, чи робочий орган здрібнювача.

З перерахованих способів придатними для промислового здрібнювання виявилися розколювання, розламування, роздавлювання, стирання й удар. Розколювання застосовують для

одержання кускових матеріалів; розламування звичайно передує іншим способам при великому, середньому та дрібному здрібнюванні, а розрізування і розпилювання застосовують у тих випадках, коли потрібно одержати шматки матеріалу визначеного розміру і заданої форми. Стирання застосовують для тонкого здрібнювання м'яких і в'язких матеріалів. При цьому його завжди комбінують з роздавлюванням чи ударом. Стирання поліпшує процес тонкого здрібнювання і перемішування матеріалів, але при цьому збільшуються витрата енергії і зношення робочих елементів здрібнювача. Продукти зношення попадають у здрібнений матеріал, а це небажано як з погляду ведення самого процесу, так і одержання продуктів здрібнювання високої чистоти.

Ефективність здрібнювання оцінюється *ступенем здрібнювання*. Лінійний ступінь показує в скільки разів зменшується розмір шматків, а об’ємний — в скільки разів зменшується об’єм.

На практиці дроблять сировину з розмірами шматків від 1 м і більш до порошкоподібного стану (d < 1 мм). Такий високий ступінь здрібнювання не може бути досягнутий на одній машині, потрібно проводити здрібнювання в декілька стадій. З цією метою розроблені машини, які поділяють на дробарки великого, середнього і дрібного дроблення, а також млини.

У неорганічній технології використовують машини роздавлюючі, розколюючі, розламуючі й стираючо-роздавлюючі.

У роздавлюючих роздрібнювачах тіло під дією навантаження деформується в усьому об'ємі, і коли внутрішня напруженість в ньому перевищить межу міцності стискання — воно руйнується. До таких роздрібнювачів відносять гладковалкові дробарки і роликокільцеві млини.

При здрібнюванні матеріалу розколюванням і розламуванням на тіло діють зосереджені навантаження, які викликають місцеві руйнівні напруження. Розколювання і розламування в порівнянні з роздавлюванням вимагає менших зусиль для руйнування матеріалу і менших енергетичних витрат на одиницю речовини, що подрібнюється. Достоїнством цього

способу є також зниження виходу дрібних фракцій, у результаті чого утворюється продукт однорідніший за розмірами. У роздрібнювачах ударної дії руйнування матеріалу відбувається внаслідок динамічних навантажень. Вони виникають при падінні важких тіл на матеріал, при зіткненнях цих тіл з матеріалом у польоті, матеріалу, який летить, з нерухомою поверхнею і при зіткненні в польоті самих часток, що подрібнюються, одина з одною. До роздрібнювачів ударної дії відносять молоткові дробарки, а також кульові, стрижневі та струминні млини.

При дробленні шматки твердого матеріалу піддаються спочатку об'ємній деформації, а потім руйнуються по ослаблених макро- і мікротріщинами перетинах з утворенням нових поверхонь. Зі збільшенням ступеня здрібнювання зростає питома витрата енергії на здрібнювання. Наприклад, при здрібнюванні часток до розміру 20; 0,1; 0,01 мм витрата електроенергії складає відповідно 1; 25 і 150 кВтгод/т. На практиці, керуючись принципом "не подрібнювати нічого зайвого", з матеріалу попередньо видаляють частки з розміром, до якого матеріал буде доведений на даній стадії.

Робота, використовувана на здрібнювання, витрачається на об'ємну деформацію шматків (часток) і на утворення нових поверхонь:

$$A = a\Delta V + \sigma\Delta F, \qquad (4.1)$$

де a — робота деформування одиниці об'єму твердого тіла, Дж/м^3; ΔV — зміна об'єму твердого тіла, м^3; σ — робота утворення одиниці нової поверхні (поверхнева енергія), Дж/м^2; ΔF — площа знову утвореної поверхні, м^2.

При дробленні великого шматка з малим ступенем здрібнювання можна зневажити роботою утворення нової поверхні. Тоді:

$$A = a\Delta V.$$

При високому ступені здрібнювання порівняно дрібних зерен можна зневажити роботою деформування, тому що вона буде дуже мала в порівнянні з роботою утворення нової поверхні. Тоді рівняння (4.1) запишеться:

$$A = \sigma \Delta F \qquad (4.2)$$

Роботу утворення нової поверхні можна зменшити при мокрому помолі. Під впливом зовнішніх зусиль ще до видимого руйнування в зоні деформації виникають "зародкові" мікротріщини. При усуненні зовнішніх зусиль вони під впливом молекулярних сил зчеплення здатні до змикання.

При мокрому помелі рідина, проникаючи в мікротріщини й адсорбуючись на поверхні, утворить сольватні шари, які здійснюють розклинюючу дію. Причому, чим менше зазор між твердими поверхнями, тим сильніша розклинююча дія. Відомо, що руйнування твердих тіл у рідинах йде тим легше, чим більше енергія (теплота) змочування (адсорбції). Відповідно до цього гідрофільні тіла (кремнезем, карбонати, силікати і т. д.) легше руйнуються у воді, чим у неполярних рідинах.

При дробленні в якості „знижувачів твердості” можуть бути використані ПАР. Наприклад, додавання в речовину, що розмелюється, 0,01—0,002 % соапстоку, етаноламинів, алкілсульфатів чи сульфанолу дозволяє знизити витрати електроенергії чи збільшити продуктивність млинів на 20—30 %.

4.2. Устаткування для здрібнювання

У неорганічній технології використовують щокові, конусні, валкові і молоткові дробарки, а також барабанні і струминні млини, які забезпечують тонкий помел.

Технічні характеристики дробарок наведені в табл. 4.1—4.3. Основні параметри валкових дробарок з гладкими і зубчастими валками наведені в табл. 4.1.

Для **конусних дробарок** крупність дробленого матеріалу визначається шириною вихідної щілини, яку змінюють у дробарках крупного дроблення, опускаючи чи піднімаючи внутрішній конус, а в дробарках середнього і дрібного дроблення - зовнішній конус.

Таблиця 4.1. **Основні параметри валкових дробарок з гладкими і зубчастими валками**

Тип дробарки	Розміри валків		Розмір завантажуваного шматка, мм	Зазор між валками,мм	Частота обертання валка, $с^{-1}$	Потужність двигуна, кВт
	D, мм	L, мм				
Д Г 400х250	400	250	20	2—12	2,47 3,53 4,58	4
Д Г 600х400	600	400	30	2—14	2,23 2,67 3,12	10
ДГ 1000х550	1000	550	50	4—18	1,05 1,48 1,87	40
ДГ 1500х600	1500	600	75	4—20	0,40 0,73 0,98 1,25	55
ДДЗ-4	400	600	100	до 105	1,10	13
ДДЗ-6	630	800	400	до 150	0,83	22
ДДЗ-10	1000	1250	400	до 240	0,60	40
ДДЗ-15х12	1500	1200	900	до 100	0,67	55
ДДЗ-16	1600	2000	1200	до 440	0,68	250

* Для дробарок типу ДГ величина куска дана при мінімальному зазорі між валками

Дробарки середнього і дрібного дроблення відрізняються від дробарок великого дроблення тим, що внутрішній конус у них посаджений консольно, а на верхньому кінці валу закріплена прийомна тарілка. Сприймані внутрішнім конусом зусилля передаються на опору зі сферичним бронзовим вкладишем. Зовнішній конус кріпиться до станини пристроєм, що складається з болта з гайкою і пружини. За обводом дробарки встановлено від

20 до 130 болтів з пружинами, які пригнічують конус до корпусу с зусиллям 4—6 Мн. Кріплення верхнього конусу виключає можливість поломки машини через потрапляння в неї металевих предметів.

Таблиця 4.2. Основні параметри щокових дробарок із складним і простим рухом щоки

Тип дробарки	Розмір завантажуваного шматка, мм	Ширина розвантажувальної щілини , мм	Продуктивність, $м^3/с$	Потужність електродвигуна, кВт
ЩДС-II-1,6х2,5	130	30—45	0,0008	7,5
ЩДС-I-2,5х9,0	210	40—60	0,0050	45
ЩДС-II-2,5х4,0	210	40—60	0,0021	18,5
ЩДС-I-4х9	340	65—90	0,0083	55
ЩДС-II-4х6	340	60—90	0,0050	45
ЩДС-II-6х9	500	100—125	0,0167	75
ЩДП-9х12	750	130—165	0,0500	110
ЩДС-П-9х12	750	130—165	0,0500	110
ЩДП-12х15	1000	155—195	0,0861	160
ЩДС-II-12хI5	1000	155—195	0,0861	160
ЩДП-15х21	1300	180—225	0,1528	250
ЩДС-П-15х21	1300	180—225	0,1528	250
ЩДП-21х25	1700	250—300	0,2220	400

Щокові дробарки застосовують для крупного дроблення колчедану, вапняку, плавів хлориду барію, ціанаміду кальцію й т.д. Вони одержали широке поширення завдяки компактності, легкості обслуговування, простоті та надійності конструкції. Плити дробарки, що є робочим органом, виготовляють із загартованого чавуну чи зносостійкої сталі. Розмір шматків дробленого матеріалу визначається шириною зазору між плитами станини й рухливої щоки, що встановлюється за допомогою регулювального клину.

Недоліками щокових дробарок є вібрація і забивання робочого простору матеріалом при нерівномірній його подачі.

Для щокових дробарок з довжиною пащі 400—2100 мм при роздрібнюванні користуються формулами:

$$Q = (0{,}43 + 0{,}22L)\, bL \cdot 10^3 \qquad (4.3)$$

$$N = KBL \qquad (4.4)$$

де Q — продуктивність, т/год; b — повна ширина розвантажувальної щілини, м; B і L — ширина і довжина пащі дробарки, м; N — потужність приводу, кВт; K — коефіцієнт, який приймають рівним 100 при BL від 200×400 до 900×1200 і рівним 80—90 при BL > 900×1200.

Таблиця 4.3. **Основні параметри конусних дробарок дрібного, середнього і крупного дроблення**

Тип дробилки	Розмір завантажуваного шматка, мм	Ширина розвантажувальної щілини, мм	Продуктивність дробарки V, $м^3/с$	Потужність електродвигуна, кВт
КМД-600	40	4—13	0,0014-0,0042	40
КМД-900	60	5—15	0,0033-0,0111	55
КМД-1200Т	40	3—12	0,0075-0,0139	75
КМД-1200Гр	80	5—15	0,0125-0,0167	75
КМД-1750Т	70	5—15	0,0236-0,0306	160
КМД-1750Гр	100	9—20	0,0264-0,0361	160
КМД-2200Т	85	5—15	0,0472-0,0639	250
КМД-2200Гр	110	10—20	0,0611-0,0722	250
КМД-3000Т	100	6—20	0,0889-0,1222	500
КМД-3000Гр	180	15—35	0,1000-0,1720	500
КСД-600	60	12—35	0,0033-0,0111	40
КСД-900	105	15—40	0,0083-0,0194	55
КСД- 1200Т	100	10—25	0,0117-0,0264	75
КСД-1200Гр	150	20—50	0,0214-0,0319	75
КСД- 1750Т	160	15—30	0,0278-0,0527	160
КСД-1750Гр	200	25—60	0,0472-0,0888	160
КСД-2200Т	250	15—30	0,0500-0,1000	250
КСД-2200Гр	300	30—60	0,1000-0,1694	250
ККД-500	400	75	0,0556	110
ККД-700/75	550	75	0,1111	250
ККД-900	750	140	0,1167	250
ККД- 1200/150	1000	150	0,1889	320
ККД-1500/180	1200	180	0,4027	400

На рис. 4.2 представлені схеми основних типів **конусних дробарок** для крупного (*а* і *б*), середнього (*в*) і дрібного (*г*) дроблення. Робочими елементами дробарок є поверхні двох вхідних один у інший конусів. Зовнішній конус 1 нерухомо зв'язаний зі станиною дробарки, а внутрішній 2 установлений на осі 3. В одних конструкціях (*б*, *в* і *г*) нижній кінець осі кріплять ексцентрично в стакані 4, при обертанні вісь описує конус з вершиною в точці О. В інших конструкціях (*а*) кріплення осі здійснюється в співвісних підшипниках з ексцентриситетом щодо осі зовніш-нього конусу 1.

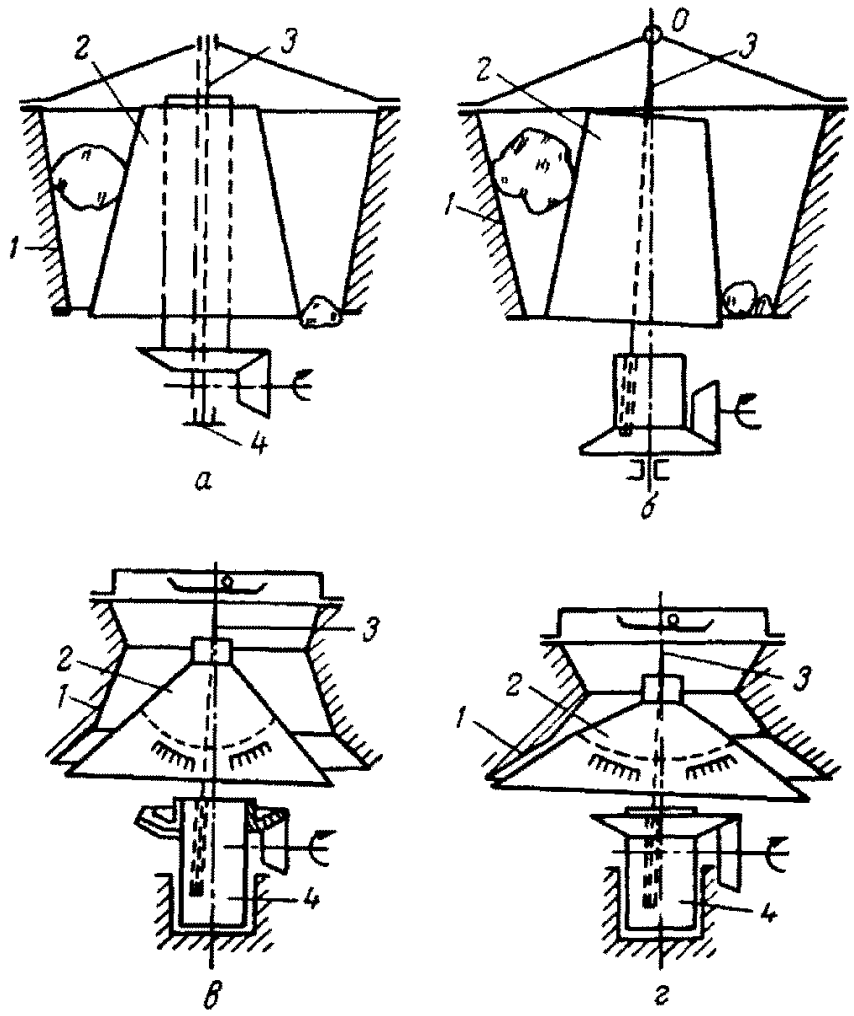


Рис. 4.2. Схеми конусних дробарок: *а, б* — для крупного здрібнювання; *в* — середнього здрібнювання; *г* — дрібного здрібнювання, 1 — зовнішній конус; 2 — внутрішній конус; 3 — вісь, 4 — стакан

При такому обертанні внутрішній конус дробарки в одній частині кола наближається до нерухомого конусу, руйнуючи матеріал, а в іншій, протилежній частині кола, віддаляється від нерухомого конусу. Здрібнений матеріал при цьому висипається через вихідну щілину, що розширилася.

Таким чином, на відміну від щокових дробарок у конусних дробарках процес руйнування матеріалу і видалення його з зони здрібнювання відбувається безупинно. За рахунок безперервності та більшої рівномірності в роботі продуктивність конусних дробарок на одиницю власної маси вища, ніж щокових. Конусні дробарки витрачають менше енергії і не мають потреби в громіздкому маховику. Однак з цього не виходить, що у всіх випадках необхідно віддавати перевагу конусним дробаркам.

При малій потужності й великій крупності вихідної сировини щокова дробарка може виявитися вигідніше конусної. Це пов'язано з тим, що геометричні розміри як щокової, так і конусної дробарки визначаються розмірами шматків у вихідній сировині. А геометричні розміри дробарок визначають їхню продуктивність та потужність двигуна.

Може виявитися, що для здрібнювання даних шматків сировини буде потрібно великогабаритна конусна дробарка, продуктивність якої перевершує необхідну. У цьому випадку вона буде недовантажена й її коефіцієнт корисної дії залишиться низьким.

Отже, без економічного аналізу схеми здрібнювання не можна однозначно вибирати необхідний тип дробарки.

Конусні дробарки використовують для здрібнювання колчедану, фосфатної сировини, сильвініту.

Недоліки конусних дробарок: складна і дорога конструкція, велика висота і складне обслуговування.

Валкові дробарки використовують для крупного, середнього і дрібного (гладковалкові) здрібнювання маломіцних матеріалів, таких, як вугілля, сірка, сильвініт і т.д..

У зубовалковій дробарці (рис. 4.3) матеріал попадає між зубами валків, що обертаються назустріч один одному, й

розколюється. Один з валків посаджений на рухливі підшипники з пружинами, які амортизують, щоб захистити дробарку від поломки при потраплянні між валки металевих предметів.

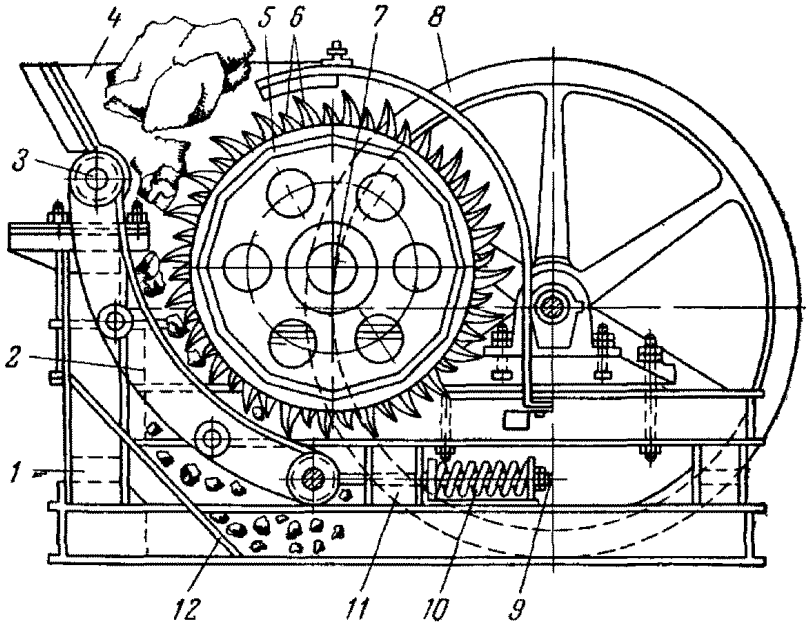


Рис. 4.3. Одновалкова зубчата дробарка з колосниковими решітками: 1 — станина, 2 — колосникові решітки, 3 — шарнір, 4 — завантажувальна лійка, 5 — валок, 6 — зуби, 7 — вісь валка, 8 — маховик, 9 — тяга, 10 — пружина, 11 — упорний стояк, 12 — бункер

Для підвищення ступеня здрібнювання виготовляють дробарки з двома парами валків, які встановлюють один над іншим на спільній рамі. В зубовалкових дробарках нижня пара валків має зуби менших розмірів з більшою частотою їхнього розташування. Такі дробарки дають ступінь здрібнювання від 8 і вище. Ширина вихідної щілини у верхньої пари валків більша, ніж у нижньої, тому для забезпечення однакової продуктивності частота обертання нижніх валків повинна бути більшою, ніж верхніх.

Валкові дробарки компактні, прості за устроєм, але чутливі до нерівномірності подачі матеріалу.

Молоткові дробарки призначені для середнього і дрібного здрібнювання азбесту, колчедану, калійної руди, гіпсу, коксу, вапняку. Розмір часток здрібненого матеріалу визначається розміром отворів у колосникових решітках.

Основними робочими елементами молоткових здрібнювачів є ротор із молотками та статор-корпус. Здрібнювання в таких машинах здійснюється вільним або затисненим ударом. Розмір часток здрібнюваного матеріалу визначається розміром отворів в подовій решітці, яку можна змінювати.

Молоткові дробарки відрізняються високою продуктивністю на одиницю власної маси, зниженою витратою енергії та високим ступенем здрібнювання в порівнянні з конусними дробарками. Недоліками є швидке зношування молотків і плит, складність балансування ротора.

Барабанні млини використовують для сухого і мокрого помелу. Мокрий помел застосовують у всіх випадках, коли здрібнений матеріал піддають надалі переробці у стані суспензії.

Створено велике число типів барабанних млинів: кульові і стрижневі, одно- й багатокамерні (дві, три, чотири), мокрого і сухого помелу. Технічні характеристики деяких з них наведені в табл. 4.4. Зображений на рис. 4.4 однокамерний млин використовують для мокрого помелу. У млинах цього типу крім здрібнювання матеріалу можливе і його підсушування. У цьому випадку для винесення здрібненого матеріалу в барабан подають підігрітий до потрібної температури газ, а сам млин служить не тільки здрібнювачем, але і барабанною сушаркою.

Таблиця 4.4. **Технічні характеристики однокамерних барабанних млинів для мокрого здрібнювання**

Тип	Діаметр барабана, мм	Довжина барабана, мм	Частота обертання барабана, об/хв	Потужність двигуна, кВт	Маса, т	
					машини без електрообладнання	куль
ШМ-1	900	600	40	14	4,48	0,45
2-ШМ-0	900	900	40	14	6,76	0,68
4-ШМ-2	1200	1200	35	26	12,8	1,0
3-ШМ-3	1500	1500	32	65	22,69	3,0
ШР-4	2100	1500	24	130	37,0	12,4
ШР-5	2100	2200	24	155	40,0	16,0

ШРЦ-4	2100	3000	24	210	44,0	22,0
ШР-6	2700	2700	21	285	70,0	28,0
ШР-8	3200	3100	18	590	104,0	47,0

Для підтримки в барабані визначеного рівня пульпи і відведення здрібненого матеріалу з зони здрібнювання перед торцевою кришкою 15 установлюють діафрагму. Вона складається з круглої решітки 9 з ребрами 10. Форма ребер відповідає нахилу торцевої кришки. Простір між решіткою й кришкою поділяється ребрами на сектори. З боку барабана навпроти отворів на решітку вкладають колосники 8 і закріплюють їх за допомогою кільця 11 і болтів 12. Цими ж болтами притягають до торцевої кришки й діафрагму.

Пульпа через колосники й отвори в решітці попадає в нижні сектори між діафрагмою і кришкою. При обертанні барабана сектори піднімаються нагору, а пульпа, що знаходиться в них, стікає у вивідну цапфу й видаляється зі здрібнювача.

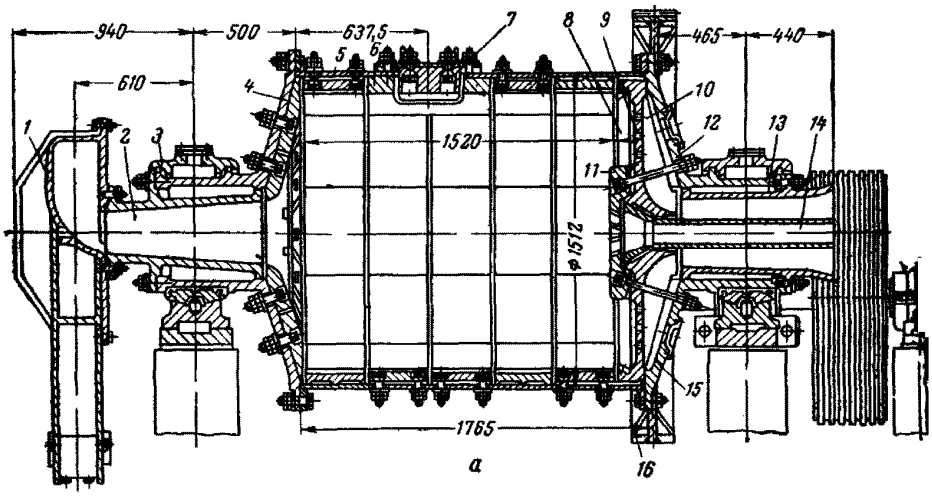


Рис. 4.4. Барабанний кульовий млин для мокрого здрібнювання (ШМ): 1 — завитковий живильник; 2 — завантажувальний вкладиш; 3 — підшипники; 4 — передня кришка з цапфою, 5 — барабан; 6 — броньові плити; 7 — люк; 8 — колосники, 9 — решітка діафрагми, 10 — ребра

решітки; 11— кільце; 12 — болти; 13 — вивідний вкладиш, 14 — центральна труба; 15 — задня кришка, 16 — вінцева шестірня

Рівень пульпи в барабані, з якого вона починає переливатися в сектори, регулюється закриттям чи відкриттям отворів у решітці. Якщо в решітці відкриті всі отвори, то в сектори попадає пульпа із самих нижніх шарів матеріалу в барабані. Якщо ж у решітці всі отвори закриті, то пульпа може виходити тільки через центральний отвір у діафрагмі в трубу 14. Отже, у цьому випадку рівень пульпи повинний підніматися вище нижньої точки центрального отвору.

Відкриття і закриття отворів у решітках, а також очищення цих отворів і колосників роблять через люки, передбачені в кришці.

Колосники встановлюють на решітці так, що під час обертання барабана вони можуть переміщатися в радиальному напрямку й, у такий спосіб, самоочищатися. Завантаження куль у млин і їхнє вивантаження роблять через люки 4.

Вихідний матеріал разом з визначеним обсягом рідини надходить у спеціальний прийомний короб, установлюваний під завитковим живильником. Днище короба має циліндричну форму з радіусом циліндра, трохи більшим радіуса обертання крайньої точки черпака живильника. При обертанні барабана разом з ним обертається і живильник, захоплюючи черпаком пульпу з короба. Зачерпнута живильником пульпа по завитку проходить через завантажувальний вкладиш 2 у зону здрібнювання, а здрібнений матеріал також у вигляді пульпи, пройшовши розвантажувальну діафрагму і вивідний вкладиш 13 виходить із млину.

Створення багатокамерних млинів пояснюється прагненням привести розмір розмелюючих тіл у відповідність із крупністю матеріалу, який подрібнюється. Енергія тіл, що мелють, повинна бути достатньою для руйнування найбільших шматків сировини, інакше вони в млині не руйнуються, а шліфуються. Якщо ця енергія перевищує необхідне значення, то

надлишок її витрачається на перездрібнювання матеріалу і частково перетворюється в теплову енергію. Для руйнування великокускової сировини необхідні розмелюючі тіла більшої маси. Це зменшує число ударів по матеріалу та знижує продуктивність млинів. Тому вважається, що крупність часток сировини, що завантажується, повинна бути не більш 6—8 мм. У багатокамерному млині крупність матеріалу зменшується в міру його просування до виходу. Відповідно до цього перша камера завантажується великими розмелюючими тілами, а кожна наступна — дрібнішими.

Стрижневі млини відрізняються тим, що заповнюються сталевими стрижнями діаметром 40—100 мм, довжина яких коротша барабана приблизно на 50 мм. Їх використовують для сухого і мокрого помелу. При падінні куль у млинах відбуваються точкові удари, а при падінні стрижнів удар розподіляється по лінії і руйнує тільки великі шматки. Тому в стрижневих млинах процес йде без перездрібнювання матеріалу, і в них виходить не тонкий пил, а дрібні зерна (1—3 мм).

Барабанні млини мають високу надійність, безпечні та прості в обслуговуванні. Недоліки: громіздкість, шум та забруднення продукту металом.

Струминні млини. Здрібнювання матеріалу відбувається в результаті ударів при зіткненні часток у струменях повітря чи перегрітої пари, що витікають із сопел чи розгінних труб зі швидкістю більшою 90 м/с й спрямованих під кутом (наприклад, плоска розмільна камера типу СПВ) чи назустріч один одному

(протитечійна камера типу СП). Тиск подаваного в роздрібнювачі повітря (пари) складає 0,68—0,98 МПа, а витрата його 4—12 $м^3$ на 1 кг речовини, яка розмелюється. Крупність вихідної сировини знаходиться в межах 0,1—0,5 мм, але іноді доходить до 8—10 мм. Кінцевий продукт має відповідно крупність від 50—80 до 20 мкм. При роботі в замкнутому циклі з сепаратором та багаторазовою циркуляцією розмір часток продукту може складати 1—5 мкм.

У струминних млинах можуть подрібнюватися сірка, вапняк, вугілля, барит, азбест та інші матеріали. Продуктивність установок складає від декількох кілограмів до 30 т/год й більше.

В **бігунах** (рис. 4.5) матеріал здрібнюється роздавлюванням і стиранням. Здрібнення відбувається при потраплянні кусків під важкі котки, а стирання здійснюється при постійному перекочуванні котків відносно їх вертикальної вісі. Каток може зруйнувати кусок матеріалу лише тоді, коли його маса достатня для цього.

До появи барабанних млинів бігуни широко застосовувались в хімічних виробництвах. В даний час бігуни використовують для здрібнення в’язких матеріалів в поєднанні з перемішуванням.

Існують бігуни як для сухого, так і для мокрого здрібнення.

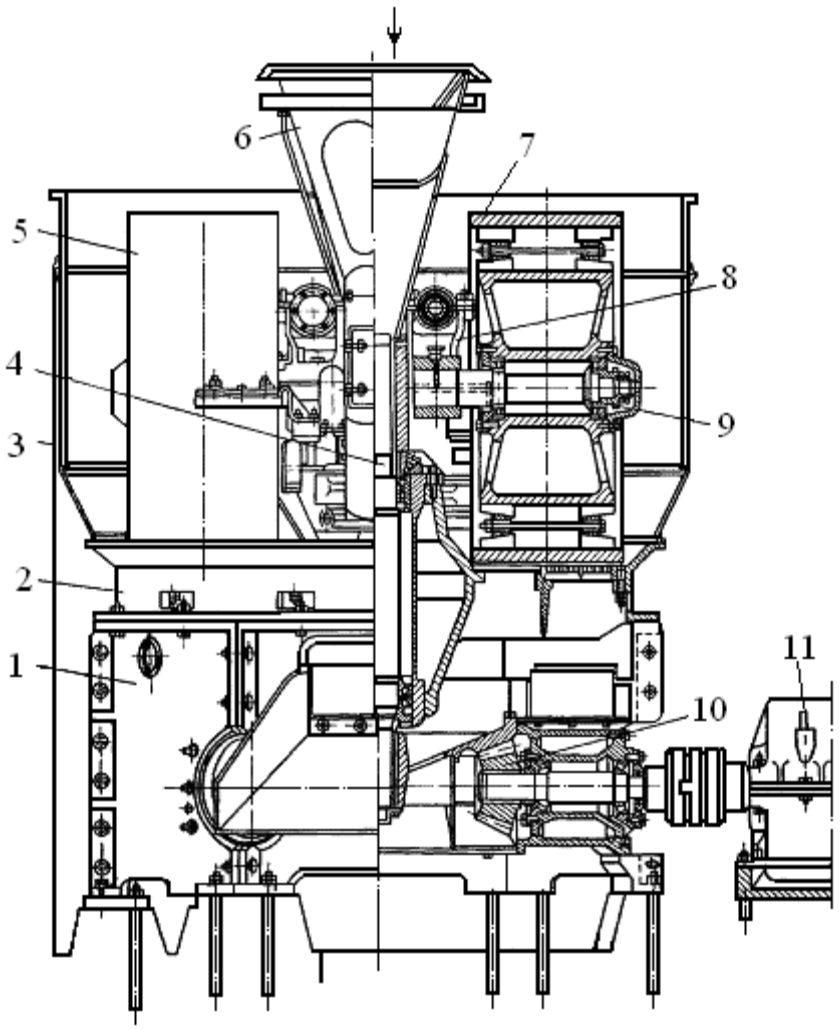


Рис. 4.5. Бігуни для мокрого помелу з обертовими котками та нижнім приводом: 1 — станина 2 — чаша, 3 — кожух, 4 — центральний вал, 5 — котки, 6 — живильна лійка, 7 — бандаж котків, 8 — кривошип, 9 — вісь котка, 10 — привідна конічна пара, 11 — двигун

Продуктивність бігунів залежить від ширини, числа котків, швидкості їхнього обертання щодо центрального вала, властивостей матеріалу, що подрібнюється, а також умов експлуатації бігунів (рівномірності живлення та своєчасного виведення готового продукту з зони здрібнювання).

Діаметр котків можна вирахувати за формулою:

$$D = \sqrt{k \cdot 2\sigma_p d / (\pi\rho)} \qquad (4.5)$$

де d — поперечний розмір шматків вихідної сировини, см; $\sigma_р$ — міцність матеріалу, кг/см^2; ρ — густина матеріалу, з якого виготовлений коток, кг/см^3; D — діаметр котка, см; k — коефіцієнт форми, що враховує зменшення об'єму часток у порівнянні з об'ємом куба, ребро якого дорівнює d.

Для зменшення розмірів бігунів у сучасних конструкціях зусилля котків, передане на матеріал, доповнюється зусиллям, створюваним спеціальними ресорами чи пружинами.

За кожним котком при русі залишається шар матеріалу товщиною, рівною розміру часток продукту. Позначимо розмір часток продукту $d_к$, ширину обода котка b, частоту його обертання щодо осі центрального вала n і густину шару матеріалу після котка ?, тоді об'ємна продуктивність (у м^3/год) котка

$$V = \pi D_0 b d_K n 60 \mu_i$$

де D_0 — відстань між осями котків, м; b — ширина котка, м; n — частота обертання котка щодо осі центрального валу, об/хв.

Якщо бігуни мають z котків, а насипна густина матеріалу дорівнює $\rho_н$, то продуктивність котків (у кг/год) визначають за формулою:

$$G = 188{,}4 ?_i D_0 b d_k n \rho_н z \qquad (4.6)$$

Приклад. Визначити продуктивність бігунів, що мають два котки. Ширина котка b = 200 мм, відстань між осями котків D_0 = 600 мм, частота обертання котків щодо осі центрального валу n = 26 об/хв. Крупність помелу продукту $d_к$ — 70 мкм. Насипна густина матеріалу $\rho_н$ = 1400 кг/м^3; μ_1 = 0,7.

Рішення. За формулою (4.6) маємо:

$$G = 188{,}4 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}20 \cdot 0{,}00007 \cdot 26 \cdot 1400 \cdot 2 = 80{,}65 \text{ кг/год}$$

4.3. Устаткування для фракційного поділу (класифікації) сипких матеріалів

Поділ твердих речовин на фракції проводять трьома способами: у грохотах, гідравлічною і повітряною сепарацією.

4.3.1. Механічна класифікація (грохотування)

Грохот служить для поділу часток (шматків) сипких матеріалів за геометричними розмірами просіюванням через сита чи решета.

Робочі елементи грохотів — сита, решета та колосники. Колосники виготовляють зі стрижнів трапецієподібного перетину. Решетами називають металеві листи з проштампованими круглими чи щілиноподібними отворами з поперечним розміром до 50 мм. Сита для грохотів виконують із сіток, виготовлених з дроту чи металевих стрижнів (рис. 4.6). Сітки за площею отворів ($мм^2$) поділяють на класи: найдрібніша (менш 0,25), дрібна (0,25—1), середня (1—25), велика (25—625), дуже велика (понад 625). Сітки класу „середня” й дрібніші виготовляють звичайно тканими, а дуже великі — у вигляді зварених, стрижневих і збірних.

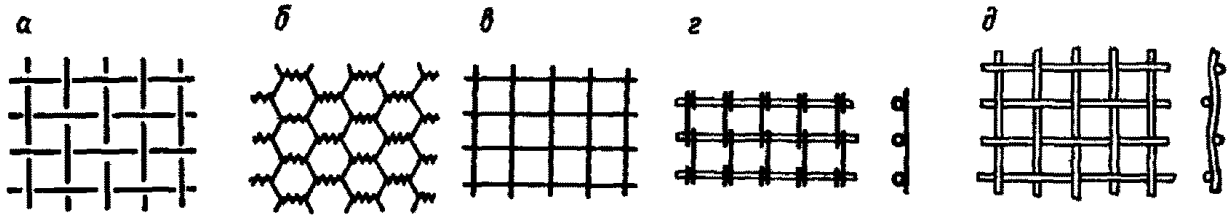


Рис. 4.6. Види сіток: *а* — ткані, *б* — кручені, *в* — зварені, *г* — стрижневі, *д* — збірні

Вітчизняні сита позначають номерами, що відповідають розміру сторони отвору, вираженому в міліметрах.

Для промислового розсіву сипких матеріалів випускають дротові ткані сітки полотняного переплетіння з квадратними вічками, розмір сторін яких у світлі від 0,4 до 20 мм, нормальної та підвищеної точності.

Розміри часток (шматків) дрібніші чи більші визначеного значення записують зі знаком "–" чи "+". Наприклад, при розсіві матеріалу на двох ситах з розмірами вічок 5 і 1 мм одержують три фракції: +5 (більше 5) мм, –5 +1 (від 5 до 1) мм і –1 (менше 1) мм.

Грохоти поділяють на дві групи: плоскі та барабанні. Технічні характеристики деяких з них наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5. **Технічні характеристики деяких грохотів**

Тип	Площа сит, $м^2$	Крупність живлення, мм	Число сит	Розмір отворів в ситі, мм	Частота хитанн, обертання, $хв.^{-1}$	Потужність, кВт	Продуктивність, $м^3$/год	Маса, т
Хитні ситові								
БКГО-М2А	5,0	250	2	0,25—1,0	400	6,5	15—30	4,89
ГП4	8,0	250	4	10—25	500	20,5	200	8,86
ГПО-4	9,0	250	4	0,25—1,0	500	8,0	35—100	9,79
Вібраційні і напіввібраційні ситові								
ГГТ-32	3,75	300	2	50—25	840	3,5	120	2,16
ГЖД-1	0,3	60	2	Змінні	1000	0,6	7	0,14
ВГД-2ЭК	5,25	100	2	»	1300	5,5	30	1,80
ГВП-1	3,13	100	2	80—13	1200	3,8	70	1,11
ГУП-111	4,38	200	3	50–25–13	900	8,0	120	2,40
Барабанні								
ГБ-1,5	19,8	350	2	50—10	10,42	4,5	45	5,05
О-89	34,6	350	1	20	16	23,5	40	14,25
С-1,3	11,4	150	1	16	20	7,0	30	5,32

Найпростішим **плоским грохотом** є похило встановлена (45°) колосникова решітка із шириною щілин не менше 50 мм. Її використовують для великого просівання.

Валкові грохоти являють собою ряд (7—13 шт.) паралельних валів на загальній похилій рамі, на яких через рівні відстані (50—150 мм) закріплені ексцентрично диски, що утворюють вічка між валками. Кожен вал з'єднаний з наступним ланцюговою передачею, яка приводиться в дію електродвигуном через редуктор. Обертаючись з коловою швидкістю 0,6—1,5 м/с, диски ворушать та просувають матеріал. Достоїнство їх — висока продуктивність та ефективність поділу. Недолік — швидке зношування дисків.

Ситовий грохот (рис. 4.7) застосовують як для класифікації, так і для відмивання шматкового й зернистого матеріалу від шламу. В останньому випадку використовують штамповані сита з невеликими щілинними отворами. Подібні сита встановлюють також на грохотах, що служать для просіву матеріалу з видовженими частками.

У грохотах, призначених для класифікації шматкових матеріалів, застосовують сита зі сталевого дроту чи прутів з розміром отворів 6, 8, 10, 13, 25, 50, 70 і 100 мм.

За принципом передачі руху матеріалу плоскі ситові грохоти поділяють на хитні, гіраційні (напіввібраційні) та вібраційні.

Вібраційні грохоти мають високу продуктивність та ефективність просівання, низькі витрати енергії. Вони придатні для великого і тонкого просівання, компактні, прості в обслуговуванні. Тому вони застосовуються все ширше й поступово витісняють інші типи грохотів.

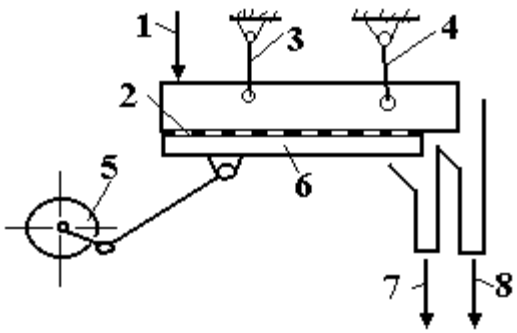


Рис. 4.7. Схема односитового грохоту: 1 — сировина, яку необхідно розсіяти; 2 — сито; 3, 4 — підвіски; 5 —

привід; 6 —короб, 7 — дрібна фракція сировини; 8 — крупна фракція сировини

Барабанний грохот (рис. 4.8) являє собою дірчастий обертовий барабан 4, зібраний з окремих сит на металевому каркасі. Барабан своїми бандажами 5 спирається на ролики 1, що у деяких конструкціях служать одночасно фрикційною передачею. Обертання барабана в даній конструкції здійснюється за допомогою зубцюватого вінця 6 через шестірню 5. Матеріал у грохот подається через лійку 2 і при обертанні похило встановленого (5°) барабану просувається до його протилежного кінця. При цьому дрібна фракція збирається в бункері 8, а велика — у бункері 6.

При поділі матеріалу на більше число фракцій використовують барабани з декількома послідовно розташованими ситами.

Серйозними недоліками барабанних грохотов є громіздкість та низький коефіцієнт використання поверхні сит (20—30 % при заповненні об'єму барабана на 15—20 %).

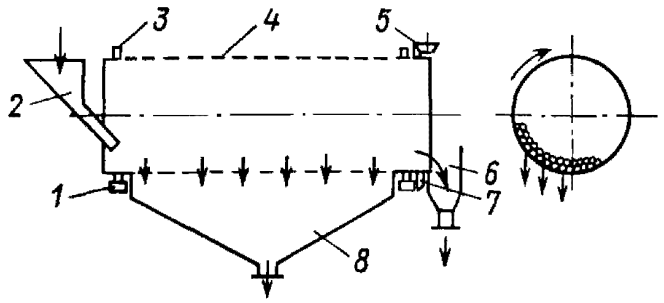


Рис. 4.8. Схема барабанного грохоту: 1 — ролики; 2 — лійка ; 3 — бандаж; 4 — барабан; 5 — шестірня; 6 — бункери; 7 — зубцюватий вінець

Треба мати на увазі, що не всі частки, розмір яких менше розміру отворів сита, просіваються. К. к. д. ситових грохотів становить, звичайно, 65—80 % і залежить від його конструкції (способу передачі руху матеріалу), вологості матеріалу та товщини його шару на ситі, форми та розміру часток.

4.4. поділ сипких матеріалів під дією гравітаційно-інерційних сил

4.4.1. Теоретичні основи поділу

У великотоннажних виробництвах та при одержанні особливо тонких порошків поділ останніх на класи чи виділення цільового продукту здійснюється методом роздільного висаджування часток із переношуючого середовища під дією гравітаційно-інерційних чи гравітаційно-відцентрових сил.

Як переношуюче середовище при сухому здрібнюванні найчастіше застосовують повітря, рідше димові чи інертні гази, а при мокрому — воду.

Вже в самому здрібнювачі йде процес поділу матеріалу на дві фракції. Більш дрібна фракція видаляється зі здрібнювача, а велика залишається в зоні і домелюється. Розмір найбільшої частки, яку може винести із зони здрібнювання газовий чи рідинний потік, залежить від його швидкості, фізико-хімічних властивостей потоку й матеріалу, що подрібнюється, а також від типу і розміру подрібнювача. На рис. 4.9 представлена схема виносу часток із зони здрібнювання. Гідродинамічний процес усередині барабана дуже складний і поки не піддається точному математичному опису, але для наочності його можна розглянути в більш простому варіанті.

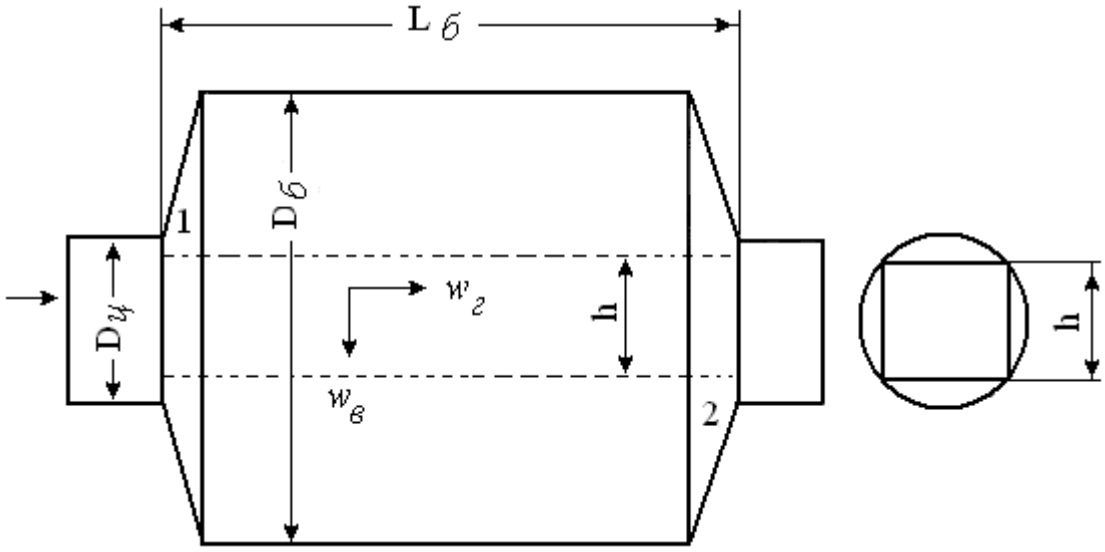


Рис. 4.9. Схема до розгляду сепарації в барабанному млині

При обертанні барабана млина частки матеріалу, який подрібнюється, разом з розмелюючими тілами піднімаються коловими траєкторіями в напрямку обертання барабана, потім при деякому куті підйому продовжують рухатися далі вже як тіла, вільно викинуті під кутом до горизонту, тобто по параболі. Досягши вершини параболи, частки починають падати вниз. У цей час уздовж барабана млина з визначеною швидкістю рухається газовий потік (сухе здрібнювання), що входить та виходить через порожнинні цапфи. Газ підхоплює падаючі частки й спрямовує їх до вихідної цапфи (*хвіст, шийка*).

Крім згаданих потоків, у барабані є ще два: горизонтальні потоки матеріалу, що надходить у млин, і потік розмелюючих тіл. Потоки впливають як на рух здрібнених часток, так і на рух газу.

З огляду на характер розглянутої задачі, щоб не ускладнювати міркувань впливом руху розмелюючих тіл і рухом маси матеріалу вздовж млина можна зневажити. У такому випадку барабанний млин можна розглядати як осаджувальну камеру, з якої повинна бути винесена частина матеріалу.

За довжину осаджувальної камери приймають довжину барабану млина $L_б$, а за її поперечний переріз — перетин порожньої цапфи.

При постійній швидкості газового потоку розмір часток, які виносяться, залежить від висоти падіння часток і їхнього шляху вздовж осі барабану. Висота падіння часток у круглій камері змінюється від нуля до діаметра цапфи, а довжина їхнього шля- ху — від нуля до $L_б$.

Щоб з камери виносився більш однорідний продукт, випливає прийняти при розрахунку постійну висоту падіння частки в газовому потоці, рівну стороні квадрата, вписаного в окружність цапфи:

$$h = D_ц/\sqrt{2}\,. \qquad (4.7)$$

Тоді для виносу частки з точки 1 за точку 2, тобто з млина, необхідно, щоб час падіння частки по вертикалі з висоти h був рівним чи більшим часу її руху по горизонталі на відстань L

$$h/\omega_в \geq L / \omega_г , \qquad (4.8)$$

де h — висота падіння частки; $\omega_В$ — швидкість вертикального руху часток; $\omega_г$ — швидкість горизонтального руху часток, яку можна умовно прийняти рівною швидкості руху повітряного (газового) потоку; L — шлях часток у горизонтальному напрямку.

Тому що частка може почати свій рух до вихідної цапфи з будь-якого місця, то, мабуть, L міняється від нуля до $L_б$.

Якщо падіння часток відбувається в ламінарному потоці, то, зневажаючи питомою вагою газу, швидкість падіння визначаємо за законом Стокса

$$\omega_В = \rho_т d^2 /(18?), \qquad (4.9)$$

де $\rho_т$ — питома вага часток, Н/м^3; d — діаметр частки, м; ? — в'язкість газу, Н·с·м$^{-2}$.

З виразів (4.7)—(4.9) випливає:

$$18?D_ц / \rho_т d^2 \sqrt{2} \geq L/\omega_г , \qquad (4.10)$$

відкіля

$$d^2 = 18?D_ц \omega_Г/\rho_т L \sqrt{2} = 12{,}7 D_ц \omega_Г/(\rho_т L). \qquad (4.11)$$

Отриманий вираз дозволяє зробити ряд важливих висновків стосовно барабанних млинів сухого помелу.

1. Максимальний розмір часток, які виносяться з млинів, прямо пропорційний діаметру цапфи $D_ц$, швидкості газового потоку $\omega_Г$ і зворотно пропорційний питомій вазі часток $\rho_т$ та довжині їхнього горизонтального шляху L.

2. Оскільки шлях руху часток у горизонтальному напрямку змінюється від нуля до довжини барабану млина, та ця зміна обумовлює розкид розмірів часток, які виносяться з млина.

Аналогічні висновки поширюються на більшість застосовуваних здрібнювачів безупинної дії. Зрозуміло, що ці висновки справедливі й для всіх здрібнювачів періодичної дії.

Для більш чіткого поділу сипких матеріалів на фракції застосовують спеціальні сепаратори-класифікатори.

Принцип гравітаційно-інерційного поділу сипких матеріалів на фракції полягає в наступному.

Будь-яка частка, що входить з потоком газу чи рідини в сепаратор (рис. 4.10), знаходиться під дією двох головних сил — горизонтальних, викликаних тиском потоку і вертикальної, тобто сили ваги. Під дією цих сил частки рухаються в горизонтальному напрямку зі швидкістю $\omega_Г$, у вертикальному — $\omega_в$. Траєкторією руху часток у цьому випадку буде парабола.

У тих випадках, коли швидкість носія в сепараторі постійна, швидкість руху частки уздовж сепаратора можна прийняти також постійною і тоді

$$h/\omega_В = 1/\omega_г .$$

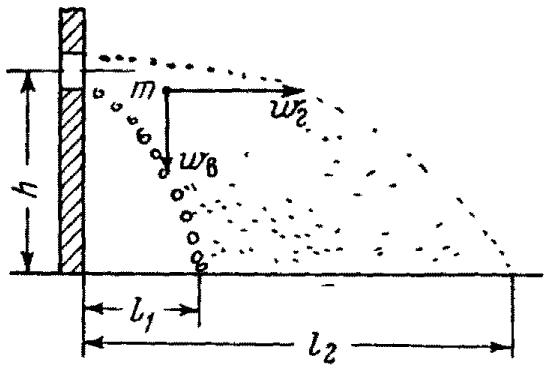


Рис. 4.10. Схема до розгляду принципу гравітаційно-інерційної сепарації

При осадженні часток у ламінарному потоці, як зазначено вище

$$\omega_в = d^2(\rho_т - \rho_с)/18\mu ,$$

де $\rho_т$ — питома вага часток; $\rho_с$ — питома вага середовища.

Тоді дальність польоту частки від місця її входу в сепаратор

$$l = 18\omega_Г h\mu/[(\rho_т - \rho_с)\, d^2] . \qquad (4.12)$$

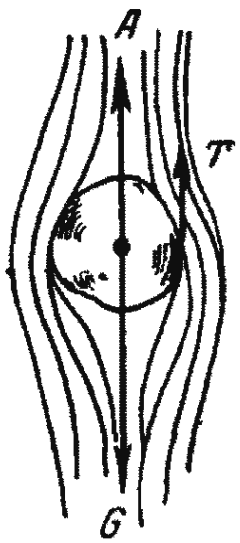
Тому що $\omega_Г$, h, ?, $\rho_т$ и $\rho_с$ — величини постійні, то $l = k/d^2$, тобто дальність польоту частки обернено пропорційна квадрату її діаметра. Чим крупніші частки, тим менше дальність їхнього польоту, тим ближче від місця входу вони випадуть з потоку. Якщо, наприклад, найбільша частка випадає на відстані l_1 від входу, а найдрібніша — на відстані l_2, то на ділянці l_2—l_1 випадуть усі частки, що мають розміри від d_2 до d_1. Чим більше h, тим більше l_2 —l_1 і тим чіткіше відбудеться поділ матеріалу на класи.

Очевидно, якщо готовим продуктом будуть частки розміром мінус d_0, то добір цієї фракції варто починати на відстані

$$l_0 = k/d_0^2 .$$

Якщо ж як готовий продукт повинні бути фракції в межах плюс d_1 і мінус d_2, то їх варто відбирати на відрізку l_2—l_1, де $l_1 = k/ d_1^2$ і $l_2 = k/d_2^2$.

У тих випадках, коли носій при вході в сепаратор втрачає свою швидкість чи змінює напрямок руху, тверді частки продовжують рухатися за інерцією. Хоча в даному випадку гідродинамічна картина і буде складнішою описаної вище, кінцевий же результат поділу часток за крупністю залишиться практично тим же.



Швидкість осадження часток у в'язкому середовищі залежить від розміру, питомої ваги, форми і стану поверхні частки, а також від в'язкості і питомої ваги середовища, в якому відбувається осадження. В загальному вигляді ця залежність установлюється наступним шляхом. У в'язкому середовищі

(рис. 4.11) на частку діють: сила ваги $q = c_1 l^3 \rho_т$, виштовхувальна чи архімедова, сила $A = c_1 l^3 \rho_c$ та сила тертя

$$T = c_2 l^2 \mu(d\omega/dn),$$

де l — лінійний розмір частки; c_1 і c_2 — об'ємний і лінійний коефіцієнти форми; $\rho_т$ і ρ_c — питомі ваги частки і середовища; ? — в'язкість середовища; $d\omega/dn$ — похідна швидкості руху середовища по нормалі до поверхні частки.

Рис. 4.11. Осадження частки в в'язкому середовищі

Рівнодіючу всіх зазначених сил можна представити у вигляді добутку ваги частки на її прискорення

$$Q = (c_1 l^3 \rho_т / g)(d\omega/d\tau), \qquad (4.13)$$

де ω — швидкість руху частки.

Склавши всі сили, одержимо:

$$c_1 l^3 (\rho_т - \rho_c) - c_2 l^2 \mu(\partial \omega/\partial n) = (c_1 l^3 \rho_т/g)(d\omega/d\tau). \qquad (4.14)$$

Формула (4.14) є диференціальним рівнянням руху частки в в'язкому середовищі.

Аналітично воно не розв'язується і тому з нього не можна знайти швидкість осадження частки. Для вирішення цієї задачі рівняння (4.14) представляють у безрозмірній (критериальній) формі та вдаються до досліду.

Методами теорії подібності диференціальне рівняння (4.14) приводиться до критериальної форми:

$$Re = a(\psi Ar)^n . \qquad (4.15)$$

Дослідним шляхом визначені значення a і n у залежності від режиму плину потоку:

при ламінарному режимі (Re < 1,85 чи $\psi Ar < 33$)

$$Re = (1/18)\,\psi Ar = 0{,}056\psi Ar\,, \qquad (4.16)$$

при перехідному режимі ($1{,}85 < Re < 500$ чи $33 < \psi Ar < 83\cdot 10^3$)

$$Re = 0{,}152(\psi Ar)^{0{,}715}\,, \qquad (4.17)$$

при турбулентному режимі ($Re > 500$ чи $\psi Ar > 83\cdot 10^3$)

$$Re = 1{,}74\,(\psi Ar)^{0{,}5}. \qquad (4.18)$$

Коефіцієнт форми ψ для різних часток має наступні значення:

Форма частки	Куля	Куб	Циліндр(h=10r)	Диск (h = 0,1r)
Ψ	1	0,806	0,690	0,320

Коефіцієнт форми даної частки являє собою відношення поверхні кулі S_m, що має такий же об'єм, що і частка неправильної форми, до дійсної поверхні частки S:

$$\psi = S_m / S. \qquad (4.19)$$

Наприклад, для куба з ребром *a* коефіцієнт форми підраховується так: об'єм куба дорівнює a^3, його поверхня $S = 6a^2$. Відповідна об'єму цього куба куля має радіус $r = a\sqrt[3]{3/4\pi}$ і поверхню $S_m = 4\,\pi r^2 = 4\pi a^2\,\sqrt[3]{(3/4\pi)^2}$.

Звідси для куба

$$\psi = S_m/S = 4\pi a^2\,\sqrt[3]{(3/4\pi)^2}\,/6a^2 = 0{,}81$$

Аналогічно підраховуються коефіцієнти форми для часток будь-якої форми.

За знайденим значенням Re визначають швидкість осадження.

Поділ сипких матеріалів під дією гравітаційно-інерційних сил здійснюють у спеціальних сепараторах. До них відносять газові і рідинні осаджувателі та гідравлічні класифікатори.

Відстійні газоходи. Найпростішим сепаратором гравітаційно-інерційного типу є відстійний газохід (рис.4.12). Винесений газом із млина здрібнений матеріал надходить через штуцер 3 у камеру. Тому що швидкість газового потоку в камері зменшується і через перегородки 5 міняється напрямок потоку, тверді частки починають виділятися з потоку під дією гравітаційних та інерційних сил. У першому за напрямком потоку збірнику будуть осаджуватися найбільші частки, у другому — дрібніші, а найдрібніша фракція буде виноситися потоком через штуцер 6 і її можна буде надалі відокремити від газу в спеціальних апаратах — фільтрах, циклонах.

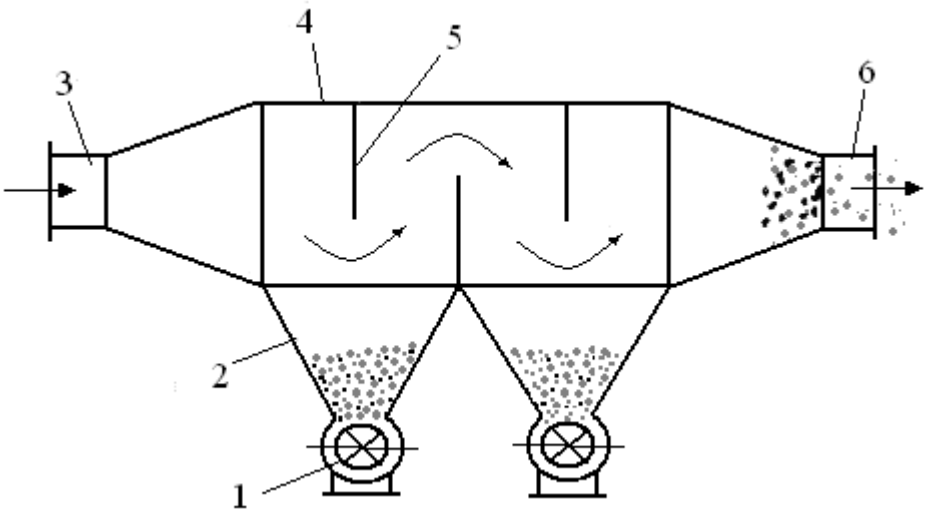


Рис. 4.12. Відстійний газохід: 1 — чарунковий вивантажувач; 2 — збірник фракцій; 3 — штуцер живлення; 4 — корпус газоходу; 5 — направляючі перегородки; 6 — вихідний штуцер

Таким чином, описаний сепаратор забезпечує розподіл матеріалу на три фракції, однак його можна застосовувати й для поділу на дві чи інше число фракцій. Матеріал зі збірників періодично чи безупинно видаляється за допомогою чарункового вивантажувача 1.

4.4.2. Багатосекційні класифікатори

Багатосекційний класифікатор, чи сепаратор, застосовується і для поділу на фракції часток, що знаходяться в рідкому середовищі (рис.4.13).

Класифікатор складається з корпусу 5, що розширюється за ходом потоку, конічних збірників 3 для різних класів матеріалу, затворів 1 для виведення матеріалу, мішалок 2 для запобігання надмірному ущільненню осідаючої в конусі фракції, ввідного штуцеру 4, порогу 7, вивідного штуцеру 8 та привідного пристрою для мішалок 4.

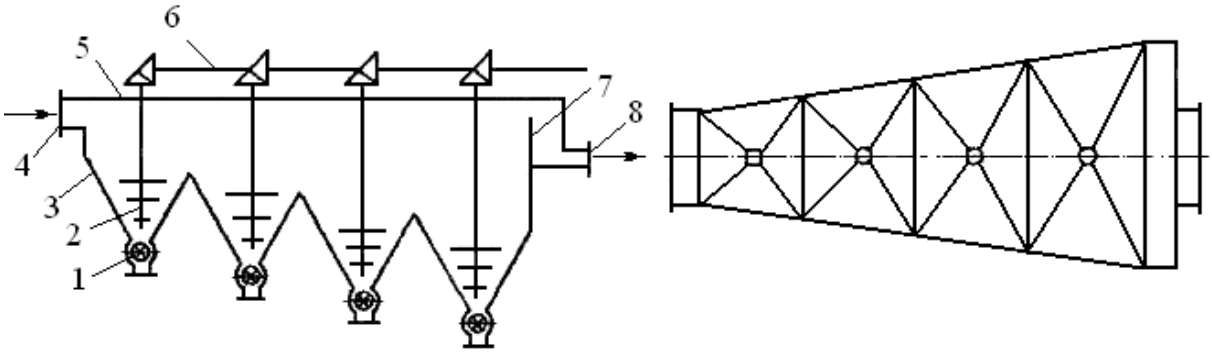


Рис. 4.13. Багатосекційний класифікатор: 1 — чарунковий вивантажувач; 2 — мішалка; 3 — конічний збірник фракції; 4 — штуцер живлення; 5 — корпус класифікатора; 6 — привід мішалок; 7 — поріг; 8 — вихідний штуцер

Класифікатор призначений для поділу часток на класи за крупністю та питомою вагою.

Суспензія, що надійшла в класифікатор, поступово втрачає швидкість у напрямку вихідного штуцера. В першому збірнику осідає найбільша чи найважка фракція, а в кожнім наступному — все дрібніші фракції.

В залежності від ведення процесу найдрібніша фракція відокремлюється в останньому збірнику чи виноситься потоком через штуцер 8 та відокремлюється від рідкого носія в спеціальному пристрої.

Стандартний секційний гідравлічний класифікатор моделі 0-80А має наступні технічні характеристики:

Число секцій у класифікаторі 4
Розміри корпусу, мм
найменша ширина I секції 620
найбільша ширина IV секції 1500
довжина всіх секцій..... 3000
Частота обертання мішалок, об/хв 1,2
Електродвигун
потужність, кВт 1,7
частота обертання, об/хв 1420

Габаритні розміри, мм
ширина 1752
довжина..... 3662
висота..... 2874

Маса класифікатора без електродвигуна, кг 2000
Продуктивність класифікатора при величині часток вихідного матеріалу від 1,651 до 0,208 мм, т/год……. 15—25.

У класифікаторах цього типу матеріал можна розділити на число фракцій, рівне числу секцій плюс одиниця, тобто з урахуванням фракції, що йде в злив.

4.4.3. Конусні класифікатори

У промисловості широко застосовуються гідравлічні конусні класифікатори автоматичної дії.

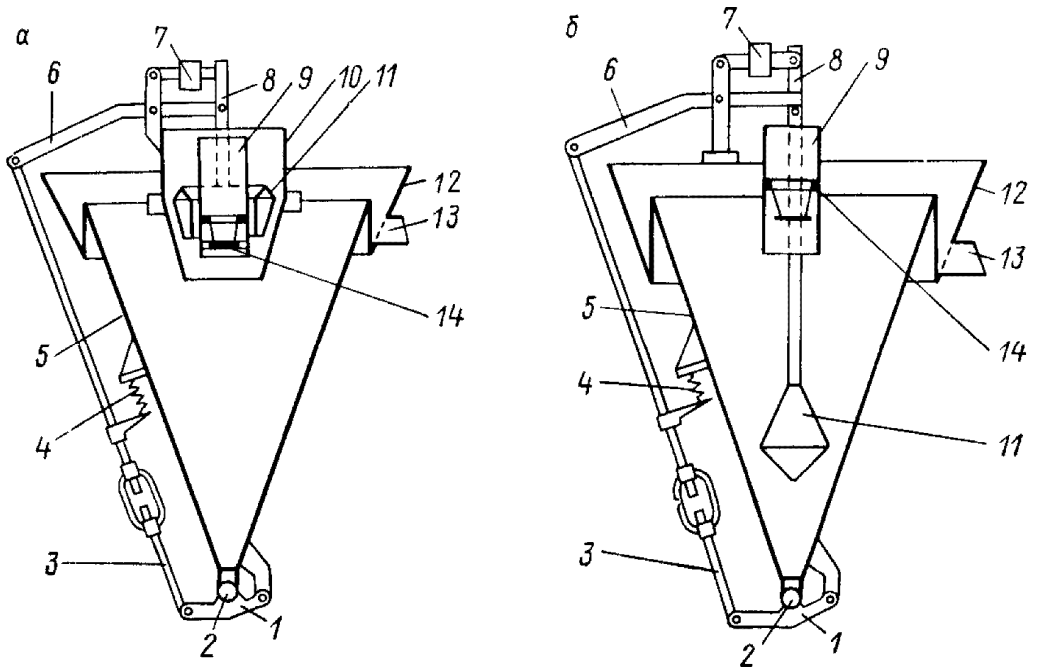


Рис. 4.14. Конусний класифікатор автоматичної дії: *а* — з верхнім поплавцем; *б* — з нижнім поплавцем; 1 — коромисло; 2 — кульовий клапан; 3 — штанга; 4 — пружина; 5 — корпус; 6— важіль; 7 — вантаж; 8 — шток; 9 — приймальна труба; 10 — напрямна поплавця; 11 — поплавець; 12 — кишеня; 13 — патрубок; 14 — діафрагма

У тих випадках, коли вміст великої фракції малий, застосовують конічні класифікатори автоматичної дії. Устрій одного з них показано на рис. 4.14, а загальний вид — на рис. 4.15. Підлягаючий класифікації матеріал у вигляді пульпи подається в прийомну трубу 9 і через діафрагму 14 у поділяючий конус, де й відбувається поділ твердих часток на фракції. Дрібна фракція виноситься висхідним потоком рідини в кишеню 12 і виходить через лоток 13. Велика фракція опускається й накопичується на дні конусу.

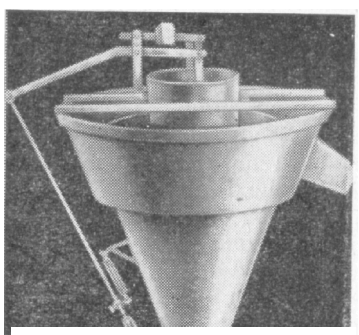


Рис. 4.15. Загальний вигляд конусного класифікатора автоматичної дії

В міру нагромадження великої фракції в конусі рівень пульпи в циліндрі 10 піднімається, а пульпа давить на клапан 11. Останній через шток 8 повертає важіль 6 щодо осі, натискає на штангу 3, відхиляє вниз коромисло 1, звільняє кульовий клапан 2 і вхідний отвір для великої

фракції. Таким шляхом конус звільняється від великої фракції. Сила притиснення клапана регулюється пружиною 4, а піднімальна сила поплавця — пересувним вантажем.

Описаний класифікатор застосовується для виділення з пульпи "пісків", тобто порівняно великих і важких часток. У разі потреби виділення з пульпи часток невеликих розмірів і питомої ваги, що мало відрізняється від питомої ваги рідини, застосовують класифікатори з нижнім поплавцем, чуттєвим до зміни питомої ваги пульпи.

У табл. 4.6 наведені технічні характеристики гідравлічних конусних класифікаторів.

Для поділу на класи матеріалів, зважених у рідині, часто застосовують відстійні класифікатори з механічним виведенням великої фракції з зони поділу. До цих класифікаторів відносяться рейкові, чашеві та спіральні, чи шнекові.

Таблиця 4.6. **Технічні характеристики конусних класифікаторів автоматичної дії**

Тип	Потужність, т/год	Максимальна величина часток в вихідному матеріалі, мм	Діаметр зливного порога, мм	Площа кільцевого дзеркала, $м^2$	Маса апарата, т	Габаритні розміри, мм		
						Довжина	Ширина	Висота
ККП-1	1,6—4	1,6	1000	0,6	190	1480	1270	1582
ККП-1,5	3,6—9	1,6	1500	1,45	230	2005	1880	2065
ККП-1 ,8	5—12,5	1,6	1800	2,0	950	2708	2324	2880
ККП-2,4	9—22	1,6	2400	2,85	1570	3350	3000	3326
ККШ-2,4	4,5—11	0,29	2400	4,52	800	3210	2830	2900

4.4.4. Рейкові класифікатори

Рейковий (гребковий) класифікатор (рис. 4.16) складається з похило встановленого прямокутного корита 18, рами з гребками 16 і підйомно-привідного механізму рами 1—15, що повідомляє

гребкам поступально-поворотний рух уздовж дна корита й у вертикальному напрямку.

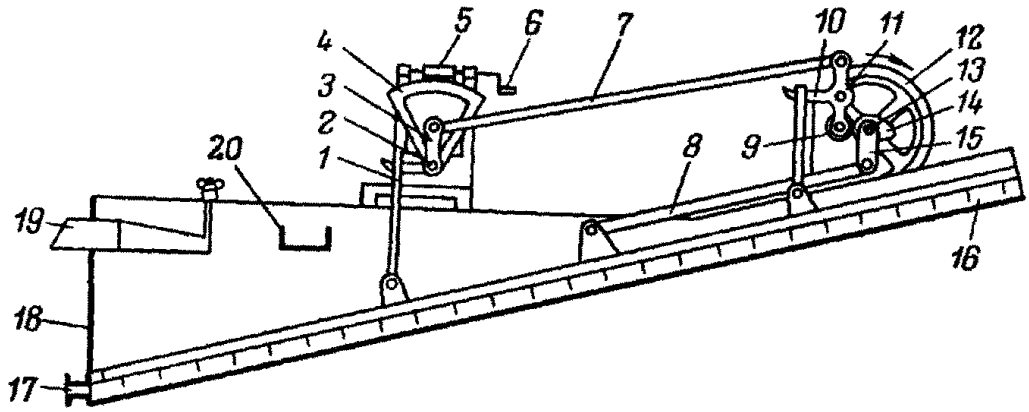


Рис. 4.16. Рейковий класифікатор: 1 — підвіска; 2, 11 — осі; 3 — коліно, 4 — черв'ячний сектор, 5 — черв'як; 6 — рукоятка, 7 — штанга; 8 — шатун; 9 — ролик; 10 — коромисло; 12 — привідне колесо; 13 — привідний вал, 14 — кулачок; 15 — кривошип; 16 — гребкова рама; 17 — зливальний штуцер; 18 — корито; 19 — зливальний лоток; 20 — прийомний лоток

Принцип роботи такого класифікатора полягає в наступному. Матеріал, який підлягає класифікації, у виді пульпи подається в прийомний лоток 20, з якого переливається в корито 18. Великі частки осідають на дно корита, гребками поступово пересуваються похилим дном нагору і скидаються через відкритий торець корита. Дрібні частки, продовжуючи залишатися в рідині в зваженому стані, висхідними потоками виносяться в зливальний лоток 19, з якого направляються за призначенням.

Рама з гребками за допомогою підвісок 1 підвішується на коліно 3 і коромисло 10, яке обертаються щодо осей 2 і 11. Коліно і коромисло зв'язані одне з одним штангою. Нижнє плече коромисла закінчується роликом 9. На приводному валу 13 посаджене привідне колесо 12, ексцентриковий кулачок 14 і кривошип 15, за допомогою якого через шатун 8 гребковій рамі передається зворотно-поступальний рух уздовж дна корита. Коли гребки повинні просувати великі частки до вихідного торця корита, рама опущена. При зворотному русі рами ексцентриковий кулачок натискає на ролик коромисла 10, нижнє

плече коромисла відхиляється вліво, а верхнє, відхиляючись вправо, захоплює тягою коліно 3. Таким чином, коромисло і коліно, повертаючись одночасно за годинниковою стрілкою, піднімають раму з гребками. Чіткість класифікації частково можна регулювати підйомом чи опусканням зливального лотка 19 та зміною подачі вихідної сировини в корито.

При вимушеній зупинці гребкової рами гребки можуть бути завалені щільним шаром осілих великих часток і пуск класифікатора без очищення корита може привести до поломки гребків чи механізму.

Для запобігання замулювання гребків у класифікаторі передбачається механізм підйому рами, який складається з черв'ячного сектора 4, жорстко зв'язаного через вісь 2 з коліном 3, черв'яка 5 і рукоятки до черв'яка 6.

Підйом рами здійснюється поворотом черв'ячного сектора, а отже, коліна і коромисла за годинниковою стрілкою.

При тривалій зупинці класифікатора пульпа, що знаходиться в кориті, спускається через штуцер 17.

Характеристики рейкових класифікаторів:

Пропускна здатність, т/год:	
за зливом	4—8,8
за піском	16—34
Маса класифікатора, т	3,8—11,3
Потужність приводу, кВт	4,4—10,0
Габаритні розміри, м	4×8,5?2,2

Для класифікації сухих порошків використовують циклони з низьким фактором поділу і повітряно-прохідні класифікатори різних конструкцій. Найбільш удалим є **повітряно-прохідний класифікатор** (*сепаратор*), зображений на рис. 4.17.

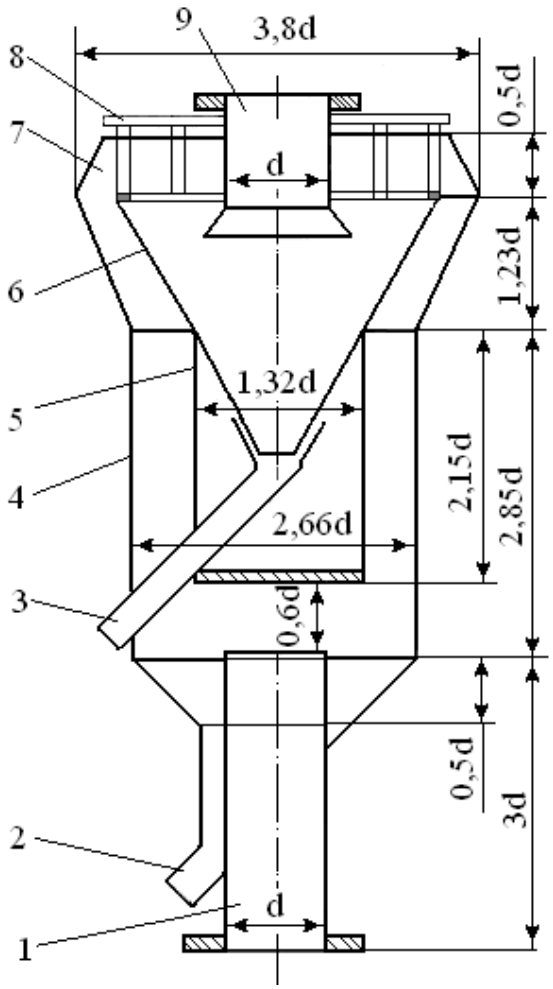


Рис. 4.17. Повітряно-прохідний класифікатор: 1—3, 9 — штуцери; 4 — корпус; 5 — циліндр — витискувач; 6 — циклон; 7 — направляючі стулки; 8 — механізм керування стулками

Пилеповітряна суміш надходить у сепаратор через штуцер А. У корпусі 4 швидкість потоку зменшується, і найбільші частки випадають та видаляються через штуцер 2. Далі потік через стулки 7 попадає в циклон 4.

Проходячи стулки, потік здобуває обертальний рух, і частки під дією відцентрової сили осідають та виводяться через штуцер 8. Найдрібніші частки ідуть з потоком через штуцер 9. Вони відокремлюються від повітря в батарейних циклонах чи рукавних фільтрах. Повітряно-прохідний сепаратор застосовують в основному в циклі з роздрібнювачем.

4.5. Устаткування для гранулювання хімічних продуктів

Гранулювання — формування твердих часток (гранул) заданих розмірів і форми. У промисловості застосовують гранулятори різних конструкцій (барабанні, валкові, тарілчасті), таблетувальні машини для гранулювання порошків, екструдери для гранулювання паст, відцентрові і вібраційні розбризкувачі в поєднанні з вежами для гранулювання розплавів.

4.5.1. Гранулювання порошкоподібних матеріалів

У барабанних і тарілчастих грануляторах при змочуванні за рахунок капілярно-адсорбційних сил відбувається зміцнення гранул. Як змочувач та з'єднувач можна використовувати воду, розчини силікату натрію, а також солей, які є одним з компонентів гранул, сульфат-спиртову барду і т. д.

Технічні характеристики деяких грануляторів для порошків наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7. **Технічні характеристики деяких грануляторів для порошків**

Тип гранулято	Розміри робочого	Частота обертан-	Продук-тивність,	Вихід продукту,	Вид добрива
Барабанні БГ	2,4×7,0 1,4×7,5 1,6×11,5	6—10 7,25 6,0	15 26 38	50—75	Суперфосфат
БГС	4,0 × 16,0 3,2×22,0	4,0 5,0	15 10—11	—	Амофос, нітрофоска
Тарілчасті	3,25×0,40 4,0×0,40 4,4×0,45	11 11—14 13—19	5 10 25	80—90	Суперфосфат, складні, змішані
Валкові	0,9×1,2 0,52×0,52	13—15 30	10—17 2—2,6	35 35—40	Хлорид калію, амофос

* Продуктивність і вихід гранул залежать від конкретного виду сировини і необхідного розміру гранул.

Барабанний гранулятор являє собою порожнинний барабан, що спирається бандажами на опорні ролики. В обертання барабан приводиться електродвигуном за допомогою редуктора через зубцюватий вінець. На кінцях барабана встановлені граничні кільця, які підвищують ступінь його заповнення. Вода (розчин), використовувана для гранулювання, розбризкується форсунками всередині барабану на деякій відстані від входу. Для очищення стінок від налиплого матеріалу встановлюють уздовж утворюючої барабана діабазовий ніж. У деяких конструкціях внутрішня поверхня барабану покрита листами гуми, прикріпленими до стінки тільки в окремих точках (крок приблизно 0,5 м). Очищення стінок від налиплого матеріалу в апаратах такої конструкції відбувається в результаті

прогинання гумових листів під дією сили ваги в момент досягнення ними верхнього положення.

У барабанних грануляторах можна поєднати процеси гранулювання та сушіння. Барабанний гранулятор-сушарка (БГС) (рис. 4.18) відрізняється від сушарки з підйомно-лопатевою насадкою тим, що насадка в ньому розсічена зворотним шнеком, який представляє собою відкритий чи закритий короб, приварений до стінки барабана по спіралі, а хвостова частина зайнята класифікатором.

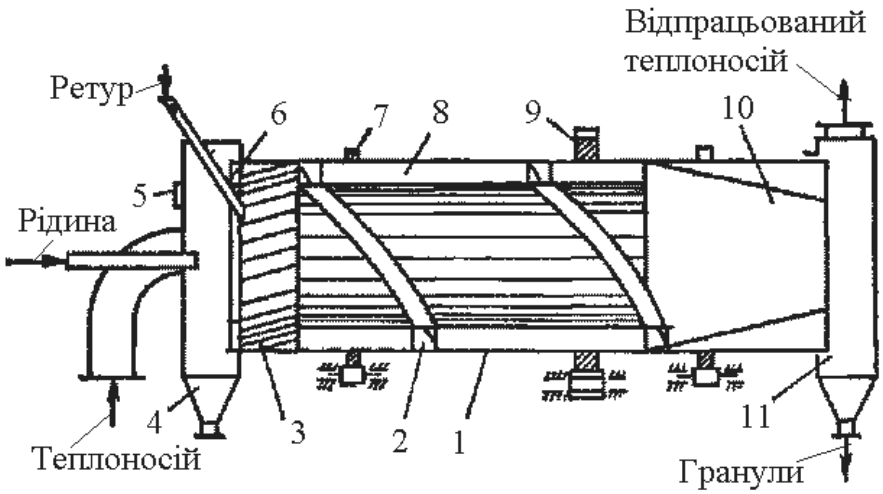


Рис. 4.18. Барабанний гранулятор-сушарка (БГС): 1 — корпус барабана; 2 — зворотний шнек; 3 — лопатева насадка; 4 — завантажувальна камера; 5 — оглядове вікно; 6 — підпірне кільце; 7 — бандаж; 8 — полична насадка; 9 — вінцева шестірня; 10 — конус-класифікатор; 11 — вивантажувальна камера

Достоїнством грануляторів барабанного типу є можливість поєднання в одному апараті процесу гранулювання з іншими процесами: наприклад, з нейтралізацією (амонізатор-гранулятор); сушінням та поверненням ретуру (БГС); сушінням, поверненням

ретуру та охолодженням гранул (БГСХ). Їх використовують для гранулювання складнозмішаних добрив та суперфосфату. До недоліків відносять: громіздкість, налипання матеріалу на стінки, складність візуального контролю за ходом гранулювання.

Тарілчастий гранулятор (рис. 4.19) являє собою чашу (тарілку) 1 із плоским чи сферичним дном, укріплену на валу редуктора 3, що установлений на станині 5. Обертання чаші передається електродвигуном 2, а кут нахилу її регулюється спеціальним пристроєм 4. Порошок, який гранулюють, подають на тарілку тічкою 8, а рідина розбризкується через отвори труби 7. Пил і пари відсмоктуються через трубу 6.

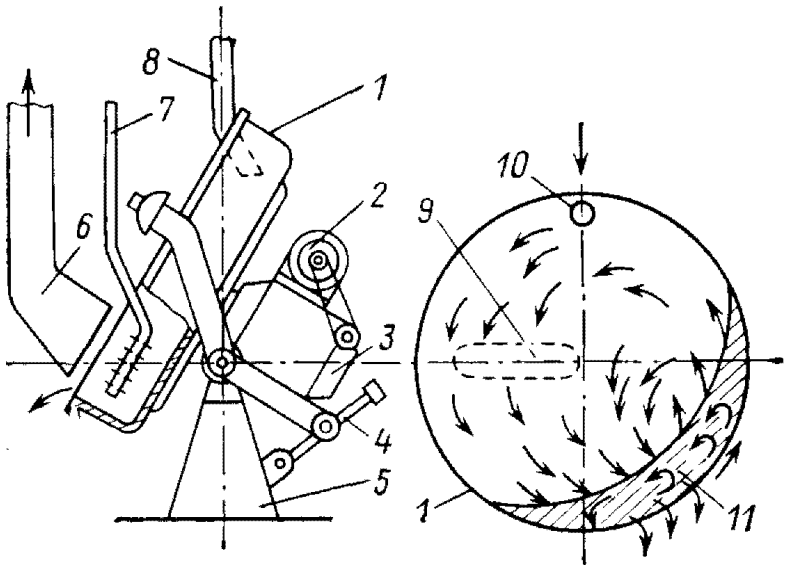


Рис. 4.19. Тарілчастий гранулятор: 1 — чаша; 2 — електродвигун; 3 — редуктор; 4 — пристрій для регулювання кута нахилу; 5 — станина; 6 — труба для відсмоктування пилу й пари; 7 — труба для розбризкування рідини; 8 — тічка; 9—11 — зони чаші.

Порошок надходить на тарілку в зоні 10, змішується з дрібними гранулами й у зоні 9 зрошується рідиною, що сприяє злипанню дрібних часток та закочуванню гранул. Великі гранули під дією відцентрової сили швидше скочуються до периферії чаші, чим дрібні, і в зоні 11, де спостерігається найбільша товщина шару, викидаються з неї. Дрібні гранули, що відчувають більший опір порошку їхньому руху, обертаються, перекочуючись дном чаші. Таким чином, у тарілчастих грануляторах відбувається одночасно і класифікація гранул.

Діаметр чаші розраховують за формулою:

$$D = \sqrt{Q/(0{,}785q)}, \qquad (4.20)$$

де Q — продуктивність грануляторів, кг/год; q — питома продуктивність [770—910 кг/(м^2·год)].

Достоїнства тарілчастих грануляторів: однорідність гранулометричного складу продукту, зручність візуального спостереження і регулювання процесу, компактність. Завдяки своїм достоїнствам тарілчасті гранулятори одержали найбільше поширення. Їх використовують для гранулювання складно-змішаних добрив, суперфосфатів, різних шихт (наприклад, бариту з коксом).

Недолік — велика чутливість до вмісту рідкої фази в гранулюємій суміші (вузькі межі робочих режимів).

Валкові прес-гранулятори використовують для гранулювання змішаних добрив, хлориду і сульфату калію, соди. У цих грануляторах можуть бути отримані шматки з поперечним розміром до 30 мм.

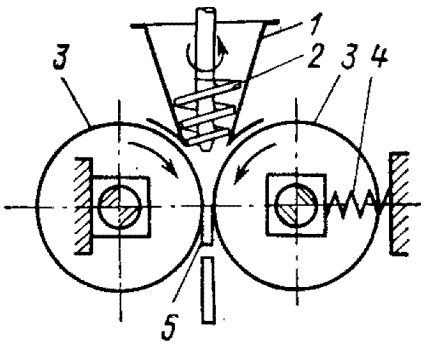


Рис. 4.20. Схема валкового гранулятора: 1 — бункер; 2 — шнек; 3 — валки; 4 — пружина; 5 — спресована плитка

Валковий гранулятор (рис. 4.20) відрізняється від валкової дробарки тим, що матеріал (порошок) подається в нього через бункер (лійку) 1, устаткований шнеком 5. Шнек служить для попереднього ущільнення матеріалу. При підвищенні тиску відбувається пружнопластичний стиск часток, що приводить до різкого зростання числа контактів між частками (їх осколками). В результаті починають діяти сили молекулярного притягання. Тиск, при якому почи-нається гранулювання, залежить від межі текучості найменш міцного компонента порошку. З підвищенням тиску матеріал може навіть розплавитися (через розігрівання). У цьому випадку гранулювання може йти за рахунок утворення між частками кристалічних зв'язків. Цьому також сприяє змочування порошку розчином сполучного матеріалу (смола, рідке скло і ін.) чи водою (у випадку добре розчинних солей).

Валки гранулятора можуть мати гладку чи рифлену поверхню, що дозволяє одержувати спресовані матеріали у вигляді стрічки, плиток (брикетів), прутків і ін. Валкові грануля-

тори поєднуються звичайно з гладко- чи зубовалковими дробарками (часто в одному корпусі).

Продуктивність валкових грануляторів від 5 до 100 т/год.

Порошкоподібні матеріали можна гранулювати на таблетувальних машинах. Їх використовують в основному для одержання гранул каталізаторів (ГИАП-5, 482, нікель-хромовий). Широке застосування знайшли машини Б001Б (96000 табл/год), РТМ-28 (до 30000 табл/год), ТП-40 (до 80000 табл/год). Таблетки можуть мати форму дисків, циліндрів і кілець діаметрами 6, 9, 10 та 12 мм.

Для гранулювання нітроамофоски й амофосу використовують сушарки-гранулятори киплячого шару типу РКСГ. Верхня їхня частина працює як розпилююча сушарка, де випаровується основна кількість вологи з розчину, а в нижній частині підтримується киплячий шар сухого матеріалу, у якому і відбувається гранулоутворення при взаємодії концентрованого розчину і сухого порошку.

4.5.2. Гранулювання паст і розплавів

Гранулювання паст здійснюють у екструдерах — машинах, робочим органом яких служить обертовий черв'як (шнек) чи валки. Екструдери мають різноманітну конструкцію (рис. 4.21).

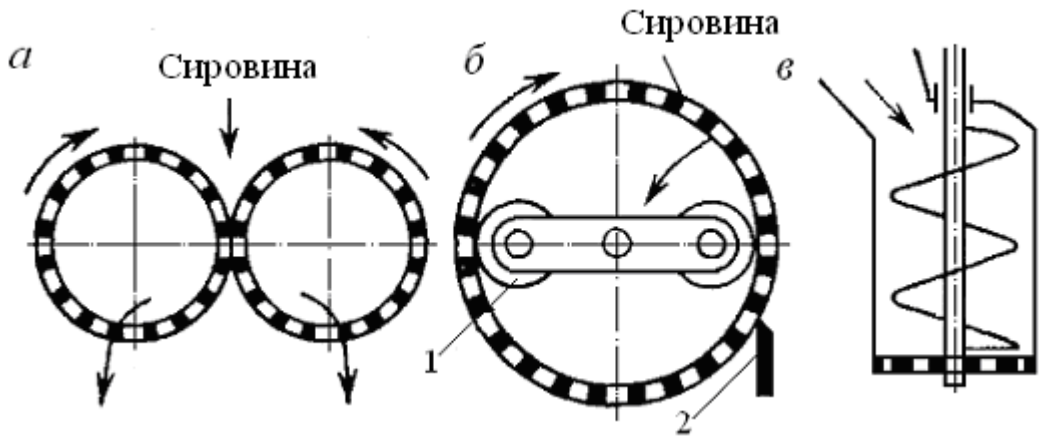


Рис. 4.21. Гранулятори екструзійного типу: *а* — із двома перфорованими барабанами; *б* — з обертовою матрицею; *в* — шнековий; 1 — валок; 2 — ніж-шкребок

Паста через перфоровану матрицю продавлюється валками або шнеком. Матеріал, що випливає з отворів матриці, зрізується нерухомими чи обертовими ножами або відривається під дією власної ваги.

Екструдери використовують для одержання гранул каталізаторів, керамзиту і деяких інших матеріалів. Шнекові екструдери застосовують для живлення пастою сушарок КС.

Гранулювання розплавів проводять охолодженням із крапель у грануляційних вежах діаметром 8—30 м. Плав розбризкується у вежі за допомогою спеціального пристрою, який є власне гранулятором. У промисловості використовують гранулятори трьох типів: відцентрові, статичні, вібраційні.

Якість отриманого в них продукту визначається вмістом фракції –3 — + 2 мм. Найрозповсюдженіші гранулятори показані

на рис. 4.22—4.24, а технічні характеристики деяких із них наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8. **Технічні характеристики грануляторів для розплавів**

Тип гранулятора	Діаметр грануля-тора, м	Діаметр отворів, мм	Частота обертання, $хв^{-1}$	Продук-тивність, т/год	Вміст, мм фракции,%	
					–3+2	–1
Відцентровий конічний секційний	0,35	1,1	170	30	42	0,5 — 0,9
Відцентровий ГрЦСа-40	—	2 — 4	500	30 — 40	75	0,4
Вібраційний лієчний	0,5	1,1	—	14 — 20	87	1,5
Вібраційний, обертовий, з пневма-тичним вібратором	—	1,2	70	30	84	1—2
Статичний лієчний	0,43	1	—	10 — 12	42	1—3

Відцентрові гранулятори (рис. 4.22, а) обертаються з частотою 170—500 $хв^{-1}$. Секційні перегородки 3 у них служать для надання рідині обертального руху. Плав, що розбризкується ними, падає у вежі через кільцевий перетин. Центральна частина перетину вежі (діаметром 6—8 м) практично не використовується. Крім того, часто забиваються отвори конусу гранулятора.

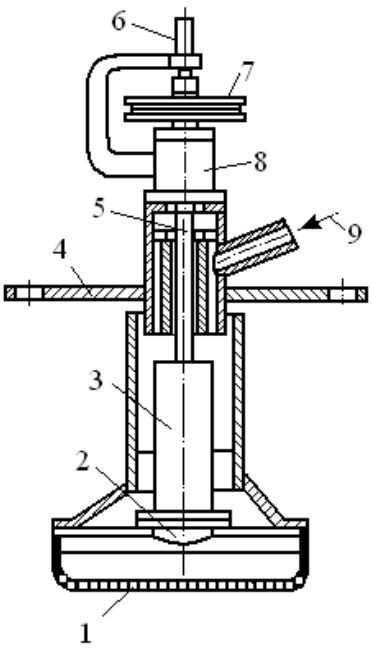


Рис.4.22. Гранулятор обертовий з пневматичним вібратором: 1 — отвори; 2 — мембрана; 3 — вал; 4 — фланець; 5 — порожнин-ний вал; 6 — патрубок для повітря; 7 — шкив; 8 — вузол підшипників; 9 — розплав

Вібраційні гранулятори позбавлені цих недоліків.

Відцентровий розбризкувач являє собою конічну перфоровану тонкостінну склянку, яка підвішена вершиною донизу на вертикальному валу, з'єднаному з електродвигуном. Найбільш поширені конуси з основою діаметром 0,3—0,35 м та висотою 0,37—0,40 м. На бічній стороні розбризкувача в кілька поясів розташовані отвори різного діаметру — з основи конусу від пояса до пояса вони зменшуються від 2,5 до 1 мм.

Плав із трубопроводу надходить відкритим струменем через широку горловину в кришці і витікає з отворів обертового конусу. Достоїнства: простота конструкції і порівняно тривалий термін служби без чищення. Недоліки: широкий спектр розмірів гранул; нерівномірне зрошення перетину вежі, що приводить до зниження продуктивності.

Для підвищення продуктивності і поліпшення розподілу навантаження по перетину вежі запропонований секційний розбризкувач з обертовими радіальними перегородками (рис. 4.23).

Така конструкція дозволяє в 1,5—2 рази збільшити продуктивність відцентрового розбризкувача. Для веж діаметром 16 м рекомендуються розбризкувачі діаметром 0,2—0,3 м і висотою 0,35 м з отворами діаметром 1,25—1,35 мм. Продуктивність такого апарата досягає 60 т/год, що відповідає середній щільності зрошення 300 кг/($м^2$·год).

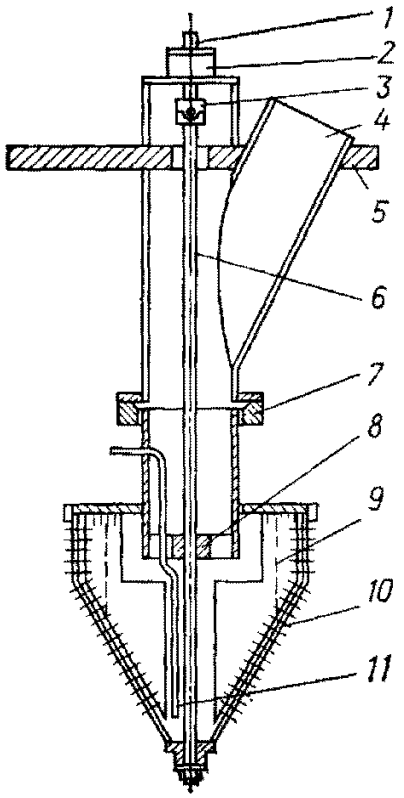


Рис. 4.23. Секційний відцентровий розбризкувач: 1 — вал приводу; 2 — підшипник; 3 — шарнір Гука; 4 — патрубок для підведення плаву; 5 — фланець; 6 — вал підвіски; 7 — кульова опора; 8 — втулка; 9 — радіальні лопати; 10 — перфорована оболонка; 11 — пьезометр для контролю навантаження

Більш рівномірний гранулометричний склад (у порівнянні з відцентровими розпилювачами) дають статичні розбризкувачі лієчного типу (рис. 4.24). Для них рекомендуються опуклі днища діаметром 0,4—0,5 м. При статичному напорі плаву 1,1 м швидкість витікання досягає 5 м/с, а діаметр зрошуваної площі складає 3—3,5 м.

Для обслуговування однієї грануляційної вежі в її верхній частині встановлюють 5—6 лієчних грануляторів. Таке компонування дозволяє поліпшити рівномірність зрошення і довести його до 500—600 кг/(м^2·год), а також дає можливість робити чищення послідовно кожного розбризкувача без зупинки вежі.

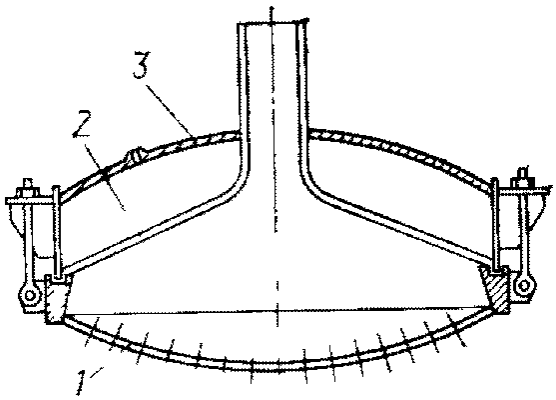


Рис. 4.24. Статичний лієчний гранулятор: 1 — перфороване днище; 2 — корпус; 3 — сорочка

У літніх умовах рекомендується наступна висота падіння суміші гранул розміром 1—3 мм: аміачної селітри — 30 м, карбаміду — 55—60 м, нітроамофосу — 60—65 м, нітроамофоски — 70 м. У вежах із киплячим шаром на дні висота падіння може бути зменшена на 30—40 %.

Запропоновано в нижній частині вежі діаметром 16 м встановлювати апарат із киплячим шаром площею 60—70 $м^2$, овальної форми, з патрубками для вивантаження на кінцях великої осі. Коло площею 50—60 $м^2$ зрошується віброгранулятором із щільністю 1000—1200 кг/($м^2$·год) [10].

Розрахунок грануляторів для розплавів і визначення розміру веж можна робити за відомими методиками [10]. Розрахункова висота веж складає; для нітрату амонію 30 м, карбаміду та нітроамофосу 60 м, нітроамофоски 70 м.

Як гранулятори для розплавів можна використовувати вальцьові кристалізатори. В цьому випадку твердий продукт одержують у виді лусочок товщиною 2—4 мм.

4.5.3. Вибір грануляторів

Вибір типу гранулятора і схеми процесу гранулювання здійснюють виходячи з вимог, пропонованих до продукту, й особливостей технологічного процесу. При використанні, наприклад, барабанного чи тарілчастого гранулятора для гранулювання добрив отримані гранули необхідно сушити та прохолоджувати після сушіння. Далі з продукту виділяють товарну фракцію (звичайно –4 — +1 мм), більшу фракцію піддають дробленню, а дрібнішу повертають на гранулятор.

Через значний розкид розміру гранул вихід товарної фракції складає 35—90 %.

Якщо гранулювання шихти, призначеної для переробки в печах, здійснюють у тарілчастих грануляторах, гранули можна безпосередньо подавати в піч. У випадку використання валкового гранулятора зі схеми гранулювання виключають сушіння й охолодження.

Екструдери дають гранули однакового розміру. Тому грохот у схемі застосовують тільки для знепилення гранул, а дробарку не передбачають. Також досить однорідні за розмірами гранули одержують при гранулюванні розплавів. У цьому випадку очевидна необхідність виключення з наведеної схеми сушарки і дробарки.

Запитання і вправи для самоконтролю

1. Перелічіть способи здрібнювання твердих матеріалів.
2. Яке устаткування для здрібнювання використовують у неорганічній технології?
3. Назвіть основні параметри конусних дробарок.
4. За якими умовами вибирають необхідний тип дробарок?
5. Які типи барабанних млинів Ви знаєте?
6. Які переваги дає мокрий помел?
7. Перелічіть робочі елементи грохотів.
8. Які види сіток існують для грохотів?
9. Охарактеризуйте деякі із грохотів.
10. Намалюйте технологічну схему барабанного грохоту.
11. Сформулюйте теоретичні основи поділу сипких матеріалів під дією гравітаційно-інерційних сил.
12. Від яких факторів залежить швидкість осадження часток у в'язкому середовищі?
13. Яку технічну характеристику має класіфікатор моделі 0-80А?
14. Поясніть принцип дії та устрій рейкового класіфікатора.
15. Як діє повітряно-прохідний класіфікатор?
16. Перелічіть переваги та недоліки барабанних грянуляторів перед тарілчастими.
17. Яку роль має ретур в процесі гранулювання добрив в БГСХ?
18. Які гранулятори застосовують для розплавів?

Розділ 5. ПЕЧІ ТА ПІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

5.1. Печі

В технології неорганічних речовин застосовують шахтні, роторні, камерні, поличні, тигельні, муфельні, трубчасті, карусельні, барабанні, тунельні, ванні печі та печі з киплячим прошарком.

Обертові печі застосовують для окислювання, відновлення, кальцинації, знефторювання, розкладання, сушіння, грануляції, кристалізації. За конструкцією вони поділяються на полум'яні та муфельні. Печі муфельні двоопорні (рис. 5.1), виготовлені з довжиною барабана до 22 м і діаметром барабана до 2,2 м (Бердичівський завод "Прогрес"). Основні розміри їх наведені в табл. 5.1.

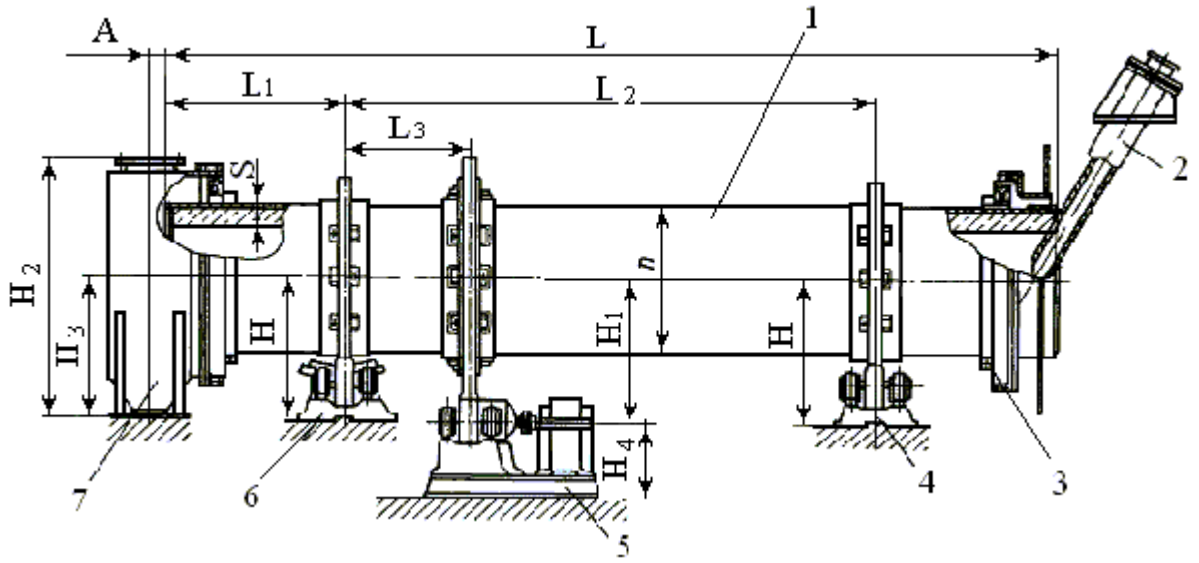


Рис. 5.1. Обертова піч: 1 — барабан; 2 — завантажувальна тічка; 3 — ущільнювальне кільце; 4 — опорна станція; 5 — механізм для обертання барабана; 6 — опорно-упорна станція; 7 — короб для розвантаження обпаленого матеріалу

Печі дво-, три- та чотириопорні (рис. 5.2, 5.3) розраховані на протитечійний рух теплоносія й оброблюваного матеріалу. Основні розміри їх наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.1. **Параметри й основні розміри (у мм) обертових печей із правим і лівим розташуванням приводу Бердичівського заводу "Прогрес"**

D	L	L_1	L_2	L_3	A	H	H_1	H_2	H_3	S	Маса, т
1000	6000	1250	3500	800	100	967	715	1670	910	8	4,9
	8000	1650	4700								5,3
	10000	2050	5900								5,7
	12000	2500	7000								6,1
	14000	2900	8200								6,5
	16000	3350	9300								6,9

1200	12000 14000 16000 18000	2500 2900 3350 3750	7000 8200 9300 10500	900	150	1180	835	1915	1042	10	8,4 9,0 9,6 10,2
1600	12000 14000 16000 18000 20000 22000	2500 2900 3350 3750 4150 5150	7000 8200 9300 10500 11700	1100	250	1503	1070	2455	1368	12	15,4 16,4 17,3 18,3 19,2 20,2
2000	16000 18000 20000 22000	3350 3750 4150 5150	9300 10500 11700	1200	350	1833	1310	2985	1678	14	27,2 28,6 29,9 31,3
2200	18000 20000 22000	3750 4150 5150	10500 11700		400	1942	1370	3300	1885	16	35,2 36,9 38,7

Піч з обертовим барабаном безупинної дії являє собою циліндричний зварений корпус, на якому за допомогою башмаків закріплені бандажі; корпус печі спирається бандажами на опорні ролики.

Всередині барабан футерується вогне- чи кислототривкою цеглою, марка якої вибирається в залежності від температурного режиму печі і технологічних процесів, здійснюваних у ній. Для закріплення футерівки в барабані до його торців приварюються так називані кільцеві пороги.

Для переміщення матеріалу у бік вивантаження піч встановлюють під кутом до горизонту, рівним 2—3°.

Привід барабана печі індивідуальний, змонтований на окремій звареній рамі і складається з електродвигуна, редуктора, відкритої вінцевої передачі. Крім того, привід має допоміжні (резервні) електродвигун і редуктор порівняно невеликої потужності. Швидкість обертання барабана печі регулюють зміною числа оборотів електродвигуна.

Таблиця 5.2. **Параметри й основні розміри (у мм) дво-, три- і чотириопорних печей**

D	L	L_1	L_2	L_3	L_4	A	H	H_1	S	Число опор	Маса т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2200	(25000) 35000	5000 4500	15000 26000	13000	3000	25	2422	1432	16	2 3	— 115
2500	20000 (30000) 40000	4150 5000	 11700 20000 30000	15000	3000	22 — 28	2358 — 2555	1495 1495	20	2	90 —
2800	(35 000) 45 000 55 000	— 4500 5500 5000	26000 34 000 45000	13000 17000 15000	3000	— 29 26	— 2731 2671	— 1792	— 20	3 4	142 180 210
3000	35000 45000 60000)	4500 5500	26000 34000 48 000	13000 17000 16000	—	30 39 —	2826 2886	1912	22	3 4	181 201
3200	50000 (60000)	6000	38000 48000	19000 16000	3000 —	35	3098 —	1985 —	26 —	3	262 —
3500	60000 (70000)	5000	60000	20000	3000 —	29 —	3271 —	2149 —	26 —	4	315 —

Печі обладнані окремо топками чи відкатними голівками. Відкатна голівка печі, що одночасно служить топковою камерою, монтується на чотириколісному візку, встановленому на рейках. Корпус голівки виготовляється з листової сталі і футерується всередині вогнетривкою цеглою. При ремонті й заміні футеровки голівка від'єднується від барабану й може бути відсунута по рейках на необхідну відстань. У нижній частині голівки мається отвір і патрубок для випуску з печі продукції.

З протилежного торця піч примикає до курної камери, у якій уловлюються частки матеріалу, що виносяться з печі. До цієї камери приєднаний димохід, через який відходять продукти згоряння.

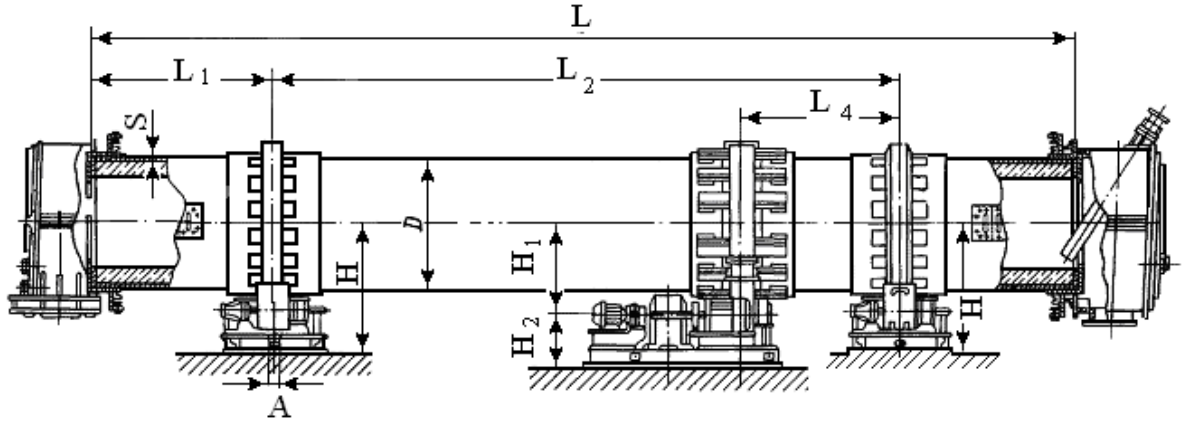


Рис. 5.2. Обертова піч із відкатною голівкою двоопорна

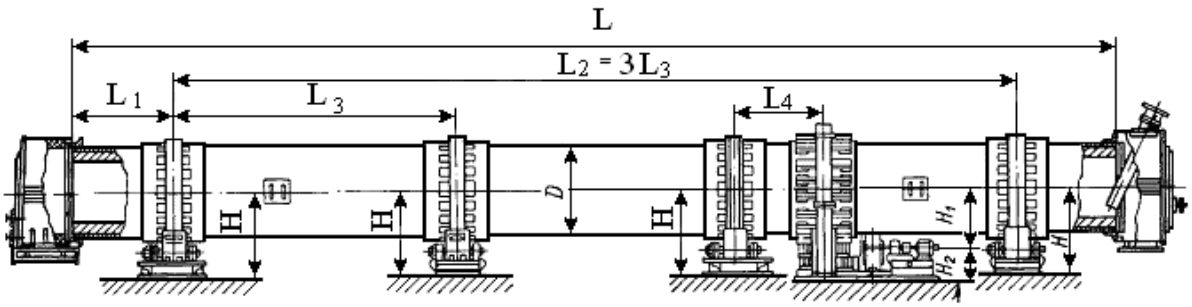


Рис. 5.3. Обертова піч з відткатною голівкою чотириопорна

Ущільнюючий пристрій обертових печей звичайно буває двох типів: лабіринтовим і контактним, створюваним двома притертими виточеними кільцями, з яких одне закріплюється на барабані печі, інше на пилоосаджувальній камері чи відкатній голівці. Надійність роботи ущільнюючих пристроїв має велике значення для підтримки заданого режиму роботи печі та впливає на її техніко-економічні показники.

Підсмоктування зовнішнього повітря в місці з'єднання печі з відкатною голівкою спричиняє додаткову витрату палива, збільшує навантаження на димосос.

Муфельні обертові печі призначені для теплової обробки матеріалів, що не допускають безпосереднього контакту з димовими газами. За конструкцією вони аналогічні звичайним обертовим печам. Основна їхня відмінність полягає в устрої футеровки й відкатної голівки. У цих печах, крім звичайної футеровки, яка захищає стінки барабану від сильного нагрівання, є спеціальна футерівки з фасонних каменів, що утворюють один центральний та ряд периферійних каналів, які проходять уздовж усієї печі. Центральним каналом переміщується прожарюваний матеріал, периферійними — продукти згоряння палива, що спалюється в топці відкатної голівки. Основні параметри обертових печей надані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. **Основні параметри обертових печей**

Умовне Позначення печі	Зовнішній діаметр D_n, мм	Довжина L, мм	Потужність електродвигуна, кВт	Частота обертання барабана, об/ хв
ПВ1-8-П ПВ1- 12ЧП ПВ1- 16- П	1000	8000 12000 16000	3,8; 4,8; 6	1,62; 2,14; 3,20
ГО 1,2- 12П ПВ1.2- 16П	1200	12000 16000		
ПВ1.6- 12П ПВ1.6-І6П ПВ1.6-20П	1600	12000 16000 20000		0,81; 1,07; 1,62
ПВ 2,2- 18П ПВ2.2-22П	2200	18000 22000	7,1; 8,3; 10, 5	
ПВ2,2- 25 ПВ2,2-35		25000 35000	8; 13; 15; 20	0,68;1,01;1,34; 2,02
ПВ2.5- 20 ПВ2.5- 30 ПВ 2,5-40 ПВ 2,5- 10- Л	2500	20000 30000 30000 40000	17; 24; 28; 36	
ПВ 2,8-35 ПВ 2,8-15 ПВ2,8- 55	2800	35000 45000 55000	24; 37,5	

ПВЗ- 35 ПВЗ- 15 ПВЗ- 60	3000	35000 45000 60000	55; 75
ПВЗ, 2- 50 ПВЗ, 2- 60	3200	50000 60000	
ПВЗ, 5- 70	3500	70000	50; 75; 100; 150

Індексація печей, наприклад, ПВ 1,2-20П або ПВ 1,2-20Л означає: піч (П) обертова (В) з умовним діаметром 1,2 м і робочою довжиною барабана 20 м; обертання барабана праве (П) або ліве (Л).

Каталогом передбачені обертові печі з зовнішнім діаметром футеровки $D_п$ = 1,0—3,5 м і довжиною барабана L = = 8—70 м.

Шахтна піч (рис. 5.4.) являє собою вертикальну циліндричну шахту висотою 6,04 м. Діаметр кожуха горла 1,74 м, висота 0,74 м.

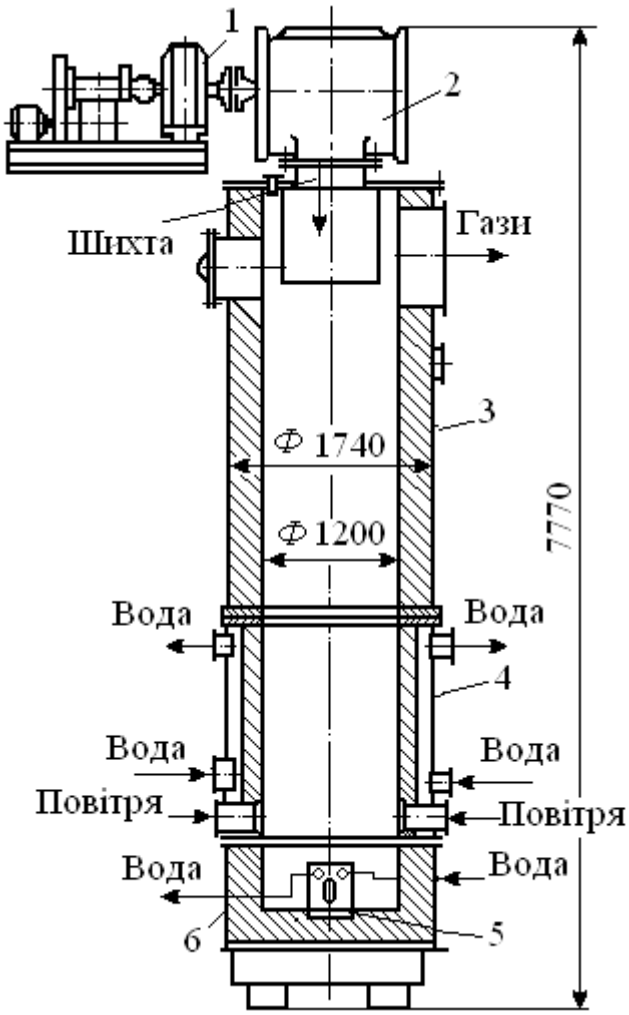


Рис. 5.4. Шахтна піч для одержання сульфіду натрію: 1 — механізм для обертання живильника; 2 — живильник; 3 — кожух; 4 — сорочка охолодження; 5 — льотка; 6 — горно

Піч призначена для відновлювального випалу, працює під розрідженням (6—8 кПа) і тому повинна бути добре герметизована. Теплообмін здійснюється за принципом протитечії: холодна шихта опускається вниз назустріч гарячим газам. Швидкість процесу регулюється зміною об'єму повітря, подаваного для горіння палива.

Основні переваги печі: безупинність та висока інтенсивність процесу; вихід плаву з горна самопливом;

економне використання палива і відновлювача; не обов'язкове завантаження печі грудковою сировиною.

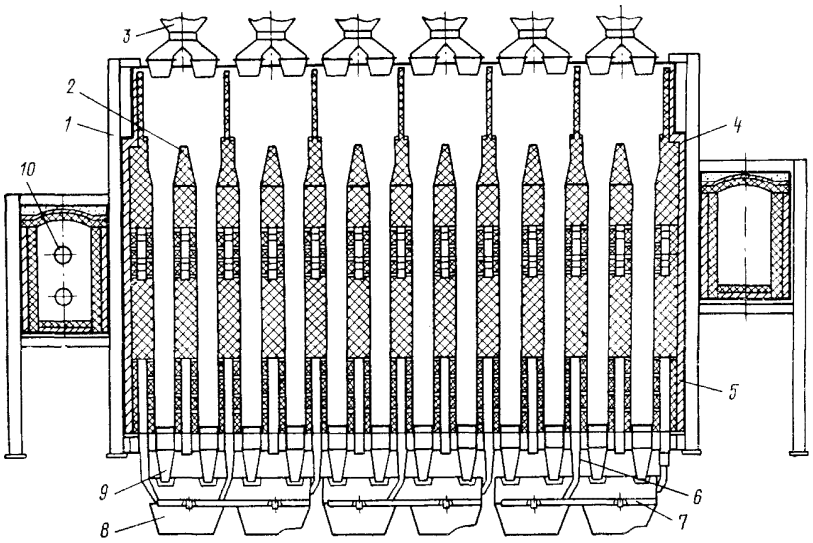


Рис. 5.5. Піч шахтна щілинна дванадцятисекційна: 1 — каркас; 2 — керн; 3 — механізм завантаження; 4 — кожух; 5 — футерівки; 6 — розвантажувальний шнек; 7 — розвантажувальний візок; 8 — тічка; 9 — водоохолоджуюча тічка; 10 — пальник

Піч шахтна щілинна (рис. 5.5) дванадцятисекційна застосовується для випалу грудкового фосфориту перед подачею в руднотермічну піч. Піч працює під розрідженням. Тиск у підшаровому просторі 5—6 кПа, у вікнах подачі теплоносія 50—90 Па, у топці 50—80 Па. Камери розділені на чотири зони: підсушування (550 °С), прожарювання (1000—1050 °С), витримки й охолодження. Щілинні камери в горизонтальному перетині прямокутні. Об'єм однієї камери 29,1 $м^3$. Димові гази видаляються з кожних двох щілин через короб і два патрубки. Пил осаджується в розподільному каналі й виводиться з печі

шнеком. Завантаження та розвантаження механізовані. Піч футерована шамотною цеглою класу А та теплоізольована. Вона обладнана двома топками, розташованими на різних висотах із двох бічних сторін, що дозволяє підтримувати рівномірну по висоті температуру.

Фосфорит у печі проходить з верху вниз послідовно зони сушіння, випалювання, дозрівання й охолодження до 130 °С, а потім потрапляє у водоохолоджуючі тічки. Дана піч може працювати й у режимі сушіння фосфориту з продуктивністю 85 т/год.

Шахтна піч для випалу вапняку. Обпалення вапняку складається з розкладання його під дією температури 1100 °С за реакцією:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 - 178 \text{ кДж.}$$

Паливом для вапняково-випалювальних печей служить кам'яне вугілля, кокс, природний газ і грубний газ від закритих карбідних печей. Вапняково-випалювальна піч безупинної дії продуктивністю 200 т/добу для випалу вапняку зображена на рис. 5.6.

Піч являє собою пряму шахту круглого перетину з внутрішнім діаметром 4,3 м з вогнетривкої цегли. У зоні горіння газу шахта поступово переходить із круглої в квадратну з закругленими кутами. Для стійкості і запобігання підсмоктувань повітря шахта укладена в металевий кожух. Між кладкою печі і кожухом є шов теплоізоляції товщиною 65 мм із сухого меленого трепелу.

Уся шахта печі встановлена на залізобетонній плиті, яка спирається на залізобетонні стовпи. Для установки вивантажувального механізму залізобетонна плита має консолі, а шахта печі прорізи, які перекриваються металевими балками, забитими в кладку печі.

Живлення печі вапняком здійснюється з бункера з вібраційним живильником. Підйом ковша з вапняком із приямку скіпового підйомника до завантажувального пристрою печі і спуск порожнього ковша здійснюється електролебідкою. Завантажувальний пристрій печі складається з двох конічних лійок і двох клапанів, що відкриваються і закриваються пристроєм, установленим на стовбурі скіпового підйомника.

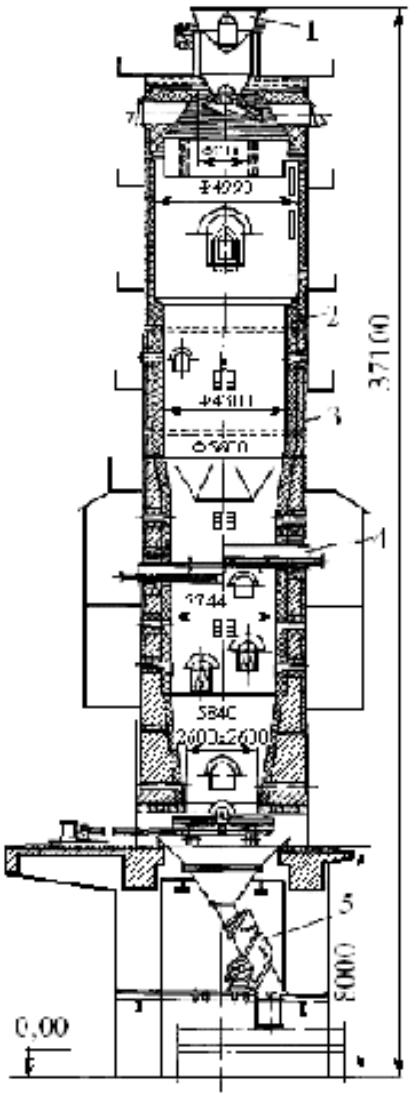


Рис. 5.6. Шахтна піч для випалу вапняку: 1 — пристрій для завантаження; 2 — кладка; 3 — кожух; 4 — пальник; 5 — механізм для розвантаження

Верхній клапан піднімається нагору, а нижній нерівнобокий конус опускається вниз і при підйомі повертається на 34°, чим забезпечується розподіл вапняку по поперечному перетину шахти печі. Для рівномірного розподілу вапняку в печі верхня лійка завантажувального пристрою перед кожним розвантаженням повертається на кути 60, 180, 240, 300 і 360°.

Вивантаження вапна з печі відбувається при зворотно-поступальному русі каретки. Дрібні шматки вапна провалюються через щілинні отвори в каретці (між колосниками), а більші шматки сходять з торцевих сторін каретки. Піч працює на тязі, створюваній димососом. Подача повітря в піч здійснюється вентилятором. Для герметизації низу печі встановлений шлюзовий затвор. Трубопроводи газів, що відходять, обладнані герметичними поворотними шиберами з дистанційним керуванням. Димові гази, перед викидом в атмосферу, проходять очищення в циклонах. Заміри температури та розрідження в шахті печі передбачені на трьох рівнях. Подача газу і первинного повітря здійснюється в двох ярусах через балки, охолоджувані водою. На кожнім рівні передбачено по шість периферійних газових уведень. Газопровід, що підходить до печі, оснащений засувкою і запобіжним запірним клапаном, який автоматично відключає подачу газу в піч у випадках: падіння розрідження в шахті печі, падіння тиску газу і повітря в підвідних трубопроводах, припинення подачі охолоджувальної води в балки чи підвищення температури води в балках вище допустимої (85 °С).

Характеристика печі:

Продуктивність за вапном т/добу	200
Розмір шматків гартованого вапняку, мм	50—100 і 100—150
Паливо	природний газ
Витрата палива на 1 т вапна:	
природного газу, $м^3$	128
умовного палива, кг	155
Внутрішній діаметр шахти, м	4,3
Розміри шахти в зоні горіння газу, м	3,74×3,74
Робоча висота шахти, м	19
Площа поперечного перерізу шахти в зоні випалу і	

підігрівання, $м^2$ 13,6

Система подачі газу в піч двоярусна

Витрата води (в $м^3$/год):
на охолодження балок газоповітряного введення
в літню пору 25,5
у зимовий час 17,5

Печі карбідні за конструкцією бувають зі стаціонарною та з обертовою ванною. Печі зі стаціонарною ванною можуть бути як з відкритою, так і з закритою ванною. У печах із закритою ванною (вапняково-випалювальні печі) грубний газ використовується як паливо. Перевага печей із обертовою ванною в тому, що шихта розподіляється рівномірно і не допускається утворення зависань, які у закритій печі не можуть бути вилучені завантаженням сировини.

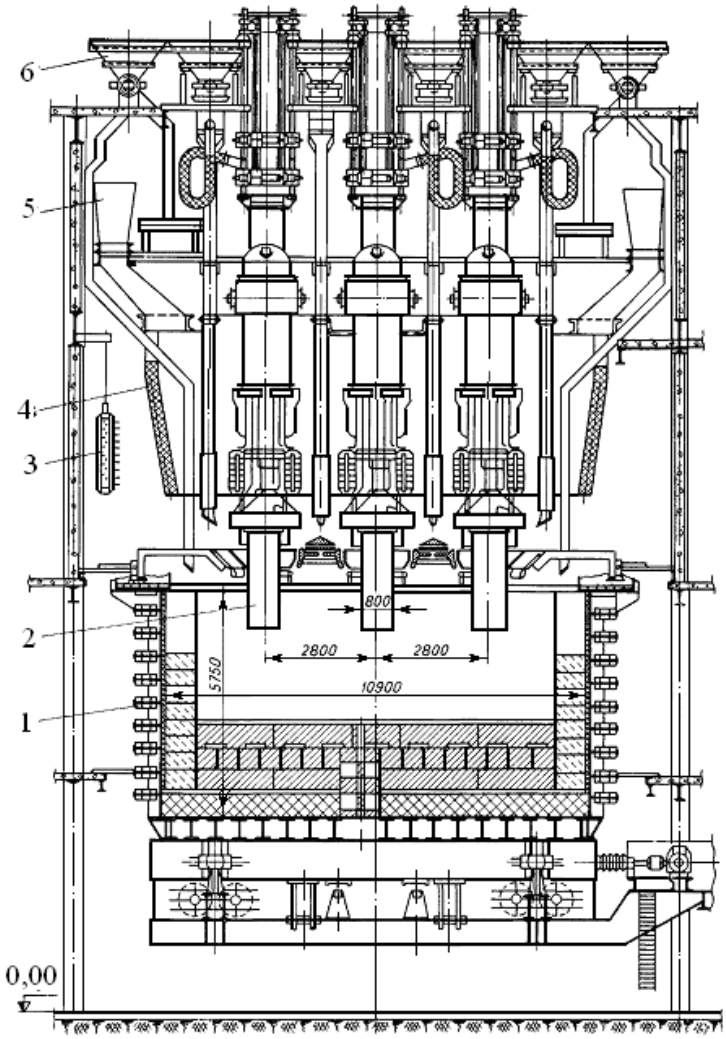


Рис. 5.7. Карбідна піч 60 МВа зі стаціонарною ванною: 1 — ванна, 2 — електрод, 3 — коротка мережа, 4 — зонт, 5 — трубопровід, 6 — бункер для завантаження сировини

На рис. 5.7 зображена карбідна піч потужністю 60 МВа зі стаціонарною ванною. Об'єм реакційного простору ванни визначається розмірами електродів і відстанями між ними і сферою дії дуги. Відстань між електродами прямо пропорційна їхньому діаметру.

Перетин електроду визначається допустимою щільністю струму, яку можна прийняти рівною 6—7 а/см^2. Печі карбідного виробництва поділяють на види: а) шахтні для випалу вапняку;

б) обертові для випалу гранульованого шламу; в) карбідні; г) ціанамідні.

Печі з киплячим прошарком (КП) застосовують для випалу колчедану (наприклад, у виробництві сірчаної кислоти). Продуктивність печей 100—400 т/добу. Вони забезпечують високу інтенсивність і ступінь вигоряння сірки, прості в регулюванні й контролі, але складні за конструкцією. Недоліком є також велика кількість недогарку, який викидається з грубним газом, що ускладнює його очистку від пилу.

У печі з киплячим прошарком (рис. 5.8) спалювання колчедану відбувається в нижньому прошарку, а охолодження обпалювальних газів — у верхньому. Перевага їх — інтенсивне використання теплоти згорання колчедану та зменшення утворення триоксиду сірки, що призводить до сульфатизації огаркового пилу й утрудняє очищення обпалювального газу. Температура в нижній (700—800 °С) і верхній (450 °С) зонах підтримується теплосприймаючими елементами, встановленими в нижньому і верхньому киплячих прошарках. Запилений газ із верхньої зони направляється в циклон, недогарок повертається у верхній прошарок печі, а очищений від недогарка газ направляється на доочистку в електрофільтри. Продуктивність печі ДКСМ 130 т/добу. Ступінь вигоряння сірки 96,8%.

Камерні печі (рис. 5.9) знайшли широке застосування для спалювання сірки. Вони бувають у горизонтальному і вертикальному вигляді одно- і двокамерні. Продуктивність печі за сіркою від 30 до 240 т/добу. Найпоширеніші двокамерні печі, що являють собою сталевий, футерований вогнетривкою цеглиною, циліндр 1 із двома перфорованими перегородками 2 всередині. Пе-

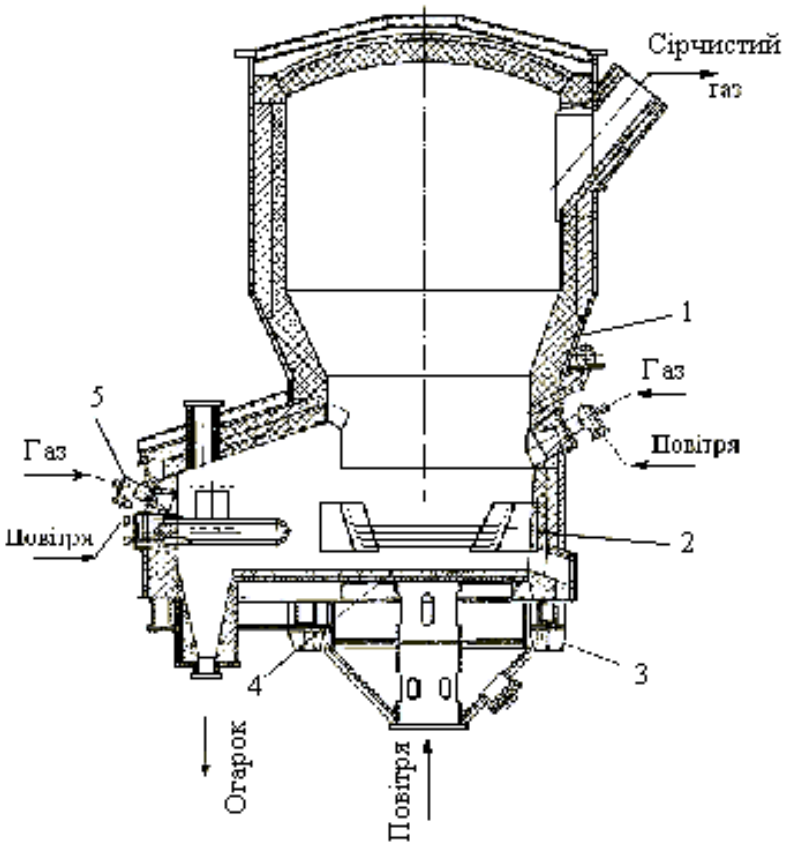


Рис. 5.8. Піч для випалу колчедану: 1 — дуттьова камера; 2 — решітка; 3 — безпровальна решітка; 4 — камера завантажувальна; 5 — ретурний живильник; 6 — решітка розподільча; 7 — циклони повернення; 8 — барабан котла; 9 — охолоджувальні елементи; 10 — футерівки; 11 — оглядовий люк; 12 — кожух печі; 13 — затвор вивантажувальний; 14 — сірчистий газ; 15 — повітря

регородки поділяють піч на дві зони: камеру горіння і камеру догоряння. Сірку в піч подають через форсунки 5, встановлені в торцевій частині печі, а повітря для спалювання сірки — по дуттьовому коробу 4 в зону розпилення рідкої сірки; додатковий об'єм повітря в камеру надходить через спеціальні отвори — фурми. Сірчистий газ виводиться через патрубок. Теплова напруженість печі до 100 кВт/м^3.

Піч запускають у роботу після розігріву поверхні футерівки до 1000 °С спеціальними пальниками. Потім включають бічні форсунки для подачі сировини та подачу палива. Розрідження в печі при пуску повинно бути 50—100 Па.

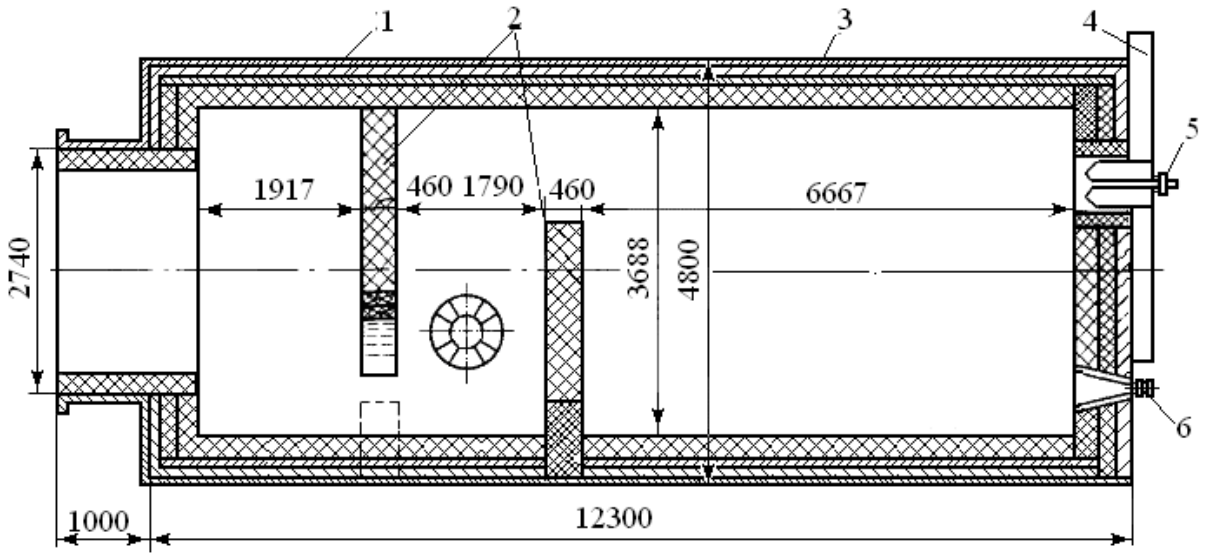


Рис. 5.9. Піч камерна для спалювання розплавленої сірки: 1 — корпус; 2 — перфоровані перегородки; 3 — футерівки; 4 — кожух для підводу повітря; 5 — форсунка для сірки; 6 — форсунка для мазуту

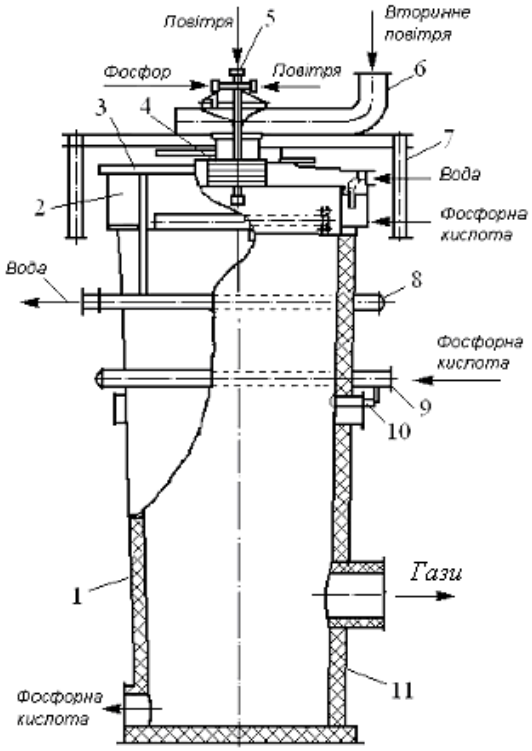


Рис. 5.10. Піч-вежа для спалювання рідкого фосфору: 1 — кожух; 2 — переливна чаша; 3 — люк; 4 — триходовий змійовик; 5 — форсунка для спалювання фосфору; 6 — установка, що підводить повітря на горіння; 7 — опора-колектор води; 8 — змійовик; 9 — колектор кислоти; 10 — форсунка каскадна; 11 — футерівки

Піч-вежу (рис. 5.10) застосовують для спалювання рідкого фосфору, гідратації оксиду фосфору (V) циркуляційною фосфорною кислотою з метою збільшення її концентрації й охолодження газів.

Основа її вертикально-конічний футерований корпус 1. Усічена конічна форма вежі сприяє рівномірному стокові по стінах фосфорної кислоти, забезпечуючи тим самим захист футеровки від впливу розпечених газів. Переливна чаша 2 із кришкою призначена для готування циркуляційної фосфорної

кислоти необхідної концентрації. Концентрацію кислоти, яка утворюється, (75 %) підтримують подаванням визначеної кількості води.

5.2. Форсунки та пальники

Форсунки поділяють: за способом розпилення — парові, пневматичні і механічні; за створюваним тиском — високого тиску, низького тиску.

Форсунки низького тиску типу ФДМ, ФДБ, ФООМ в основному використовують у печах і топках для спалювання мазуту.

Форсунки високого тиску застосовують для розпилення розплавленої сірки, фосфору й інших видів сировини. Продуктивність форсунок для сірки 1200—4200 кг/год, для фосфору — від 60 до 2500 кг/год.

Газові пальники в залежності від способу подачі повітря поділяють на:

1) дифузійні ($a \geq 0$);

2) інжекційні однопровідні і двопровідні ($a \geq i \leq 1{,}0$);

3) двопровідні, трипровідні змішувальні з примусовою подачею повітря ($a \geq i \leq 1{,}0$);

4) комбіновані газо-мазутні, пилогазові, пилогазомазутні ($a \geq i \leq 1{,}0$).

За тиском газу розрізняють пальники низького (до 5 кПа), середнього (від 5 до 300 кПа) та високого тиску (понад 300 кПа).

У залежності від методу спалювання пальники можуть бути факельними й безфакельними та від теплотворної здатності

газу — високо- й низько теплотворні, від місця установки — фронтальні, внутрішні (подові, щілинні) та занурені.

Випускають газові пальники потужністю від 3 до 4500 $м^3$/год.

У інжекційних пальниках середнього тиску передбачене попереднє змішування газу з повітрям, що дозволяє здійснити спалювання висококалорійного газу з коефіцієнтом витрати повітря, близьким до одиниці.

Устрій пальників можна бачити на рис. 5.11.

Змішувач 1 пальника виконується у вигляді нормального інжектора з центральним соплом, через яке газ подається з великою швидкістю.

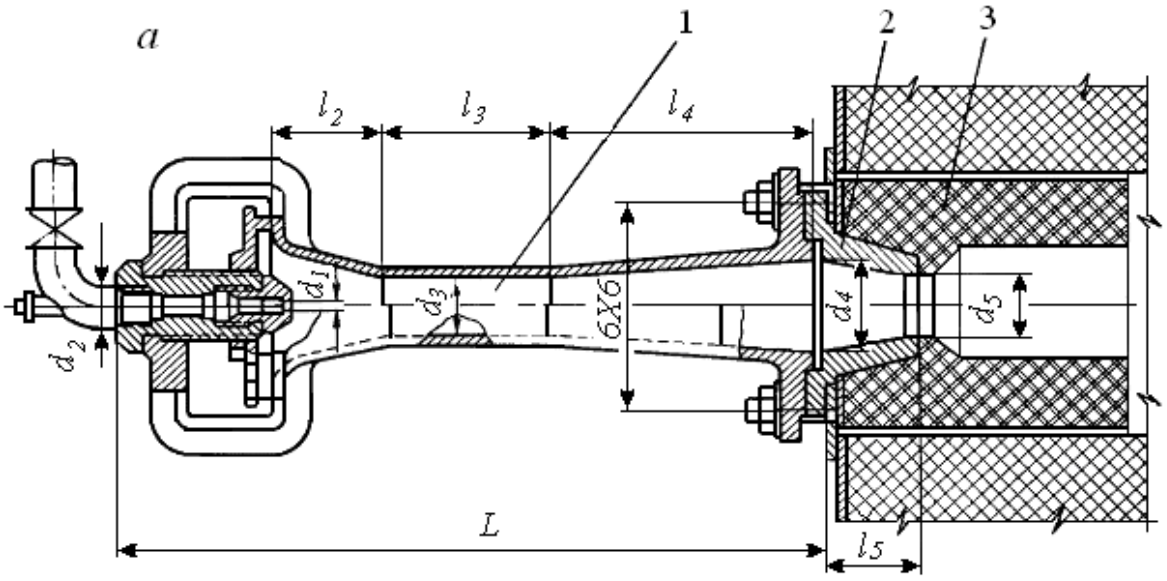
Повітря підсмоктується струменем з навколишньої атмосфери. Для нормальної роботи таких пальників необхідно, щоб тиск природного газу перед соплом становив 50—100 кПа. Ці пальники розраховані на спалювання природного газу з теплотою згоряння $Q_н^р$ =35,6 МДж/$м^3$, при коефіцієнті витрати повітря α=1,05 та протитиску в топковому просторі 10 Па, при густині газу 0,73 кг/$м^3$.

Для забезпечення заданої теплової потужності пальника витрата газу на спалювання визначається за формулою

$$V_г^{'} = V_г \frac{Q_н^р}{Q_н^{'р}},$$

де $V_г^{'}$ — шукана витрата газу, м^3/год; $V_г$ — витрата природного газу, що відповідає пальнику заданої теплопродуктивності, приймається в межах від 1,4 до 140,8 м^3/год; $Q_н^р$ — теплота згоряння природного газу, кДж/м^3; $Q_н^{'р}$ — теплота згоряння застосовуваного газу, кДж/м^3.

Необхідний тиск газу визначають за формулою:



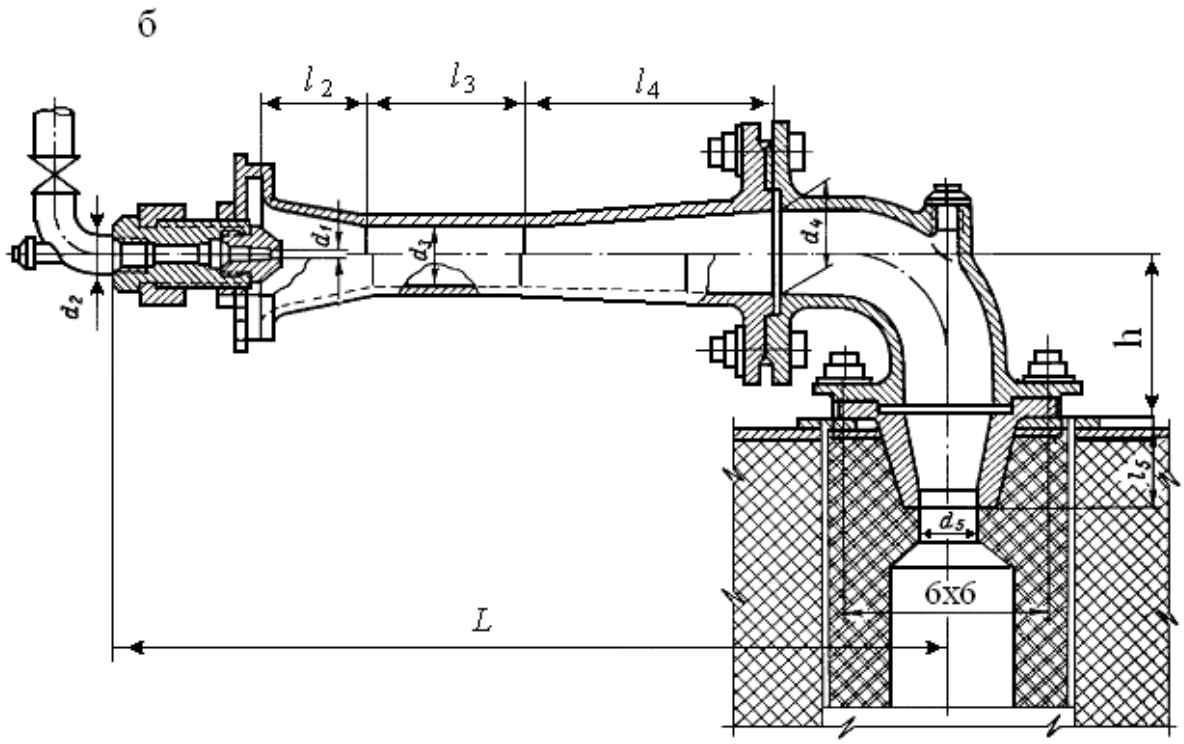


Рис. 5.11. Пальники інжекційні середнього тиску для природного газу: *а* — прямий; *б* — кутовий: 1 — змішувач; 2 — носик пальника; 3 — пальниковий камінь

$$P'_г = P_г \frac{\rho'_{ог}}{\rho_{ог}} \left(\frac{V'_г}{V_г} \right)^2 = P_г \frac{\rho'_{ог}}{\rho_{ог}} \left(\frac{Q^р_п}{Q'^р_п} \right)^2,$$

де $P'_г$ — шуканий тиск газу, Н/м^2; $P_г$ — тиск природного газу, приймається в межах від 10 до 100 кПа; $\rho'_{ог}$ — густина застосовуваного газу, кг/м^3; $\rho_{ог}$ — густина природного газу, кг/м^3

На рис. 5.12 показана одна з конструкцій панельних пальників. Такі пальники забезпечують повне спалювання газу при коефіцієнті витрати повітря 1,02. Зі збільшенням

навантаження температура випромінюючої поверхні панелі зростає, а температура тильної поверхні панелі знижується.

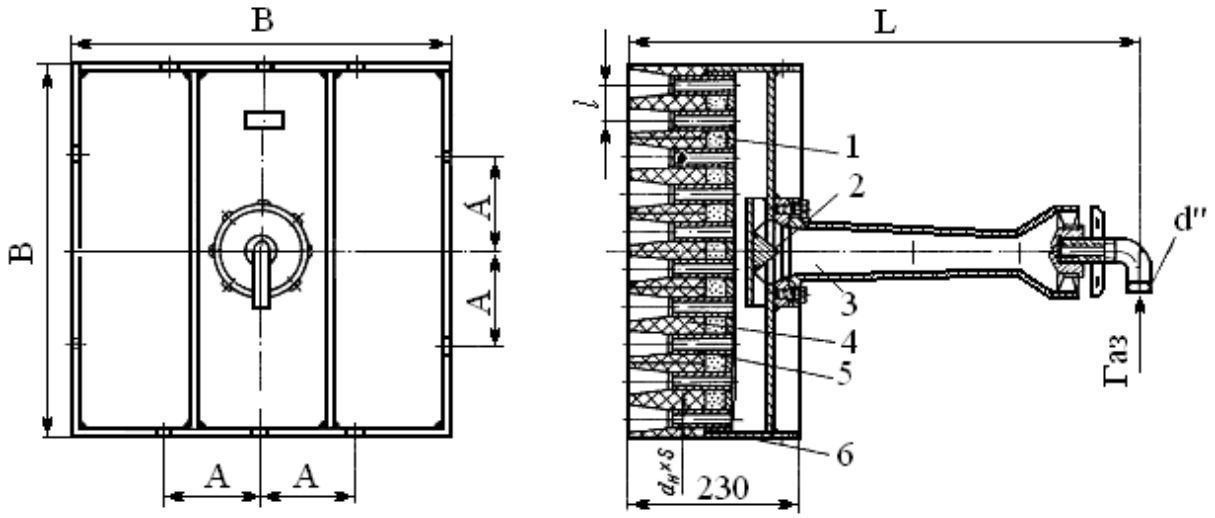


Рис. 5.12. Пальник панельний: 1 — діатомовий порошок; 2 — конус; 3 — інжектор-змішувач; 4 — керамічна призма; 5 — сопло; 6 — розподільна камера

Для розпалювання основних стаціонарних пальників застосовують спеціальні переносні газові запальні пальники (рис. 5.13). Основна вимога, до запальних пальників, це стійкість факелу при достатній його потужності, простота і легкість в користуванні.

Форсунка для спалювання фосфору продуктивністю 2500 кг/год показана на рис. 5.14.

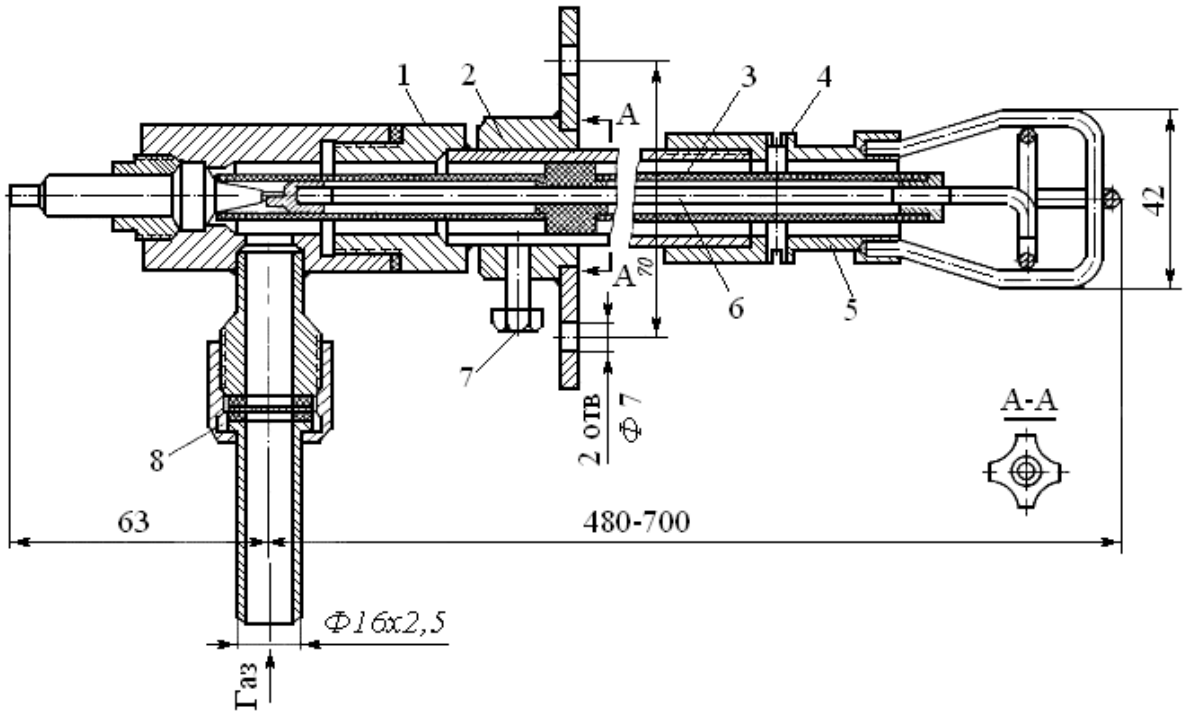


Рис. 5.13. Запальник: 1 — цівка; 2 — фланець; 3 — керамічна ізоляція, 4 — гвинт для центрування, 5 — наконечник, 6 — центральний електрод, 7 — болт для фіксації запальника, 8 — дросельна шайба

Працює форсунка в такий спосіб: по трубі 3 під тиском ~0,7 МПа подається підігріте до 75 °С повітря, а по трубі 2 під тиском 0,3—0,4 МПа надходить розплавлений жовтий фосфор з температурою 60—80 °С. Фосфор зі швидкістю 1,15—1,8 м/сек попадає в камеру змішування, де підхоплюється і розпорошується повітрям, що виходить з насадки 4 та утворює факел горіння. Повітря, яке подається по трубі 3, закручується спіраллю насадки 5 і, входячи тангенціально в камеру змішування, захоплює в круговий рух частки фосфору, внаслідок чого на поверхні основного струменя утворюються завихрення. Ці завихрення сприяють перемішуванню диспергированних часток фосфору з повітрям, прискорюючи горіння й укорочуючи довжину факела.

Продуктивність форсунки регулюється вентилями, які повинні встановлюватись на лініях подачі повітря і фосфору в безпосередній близькості від форсунки.

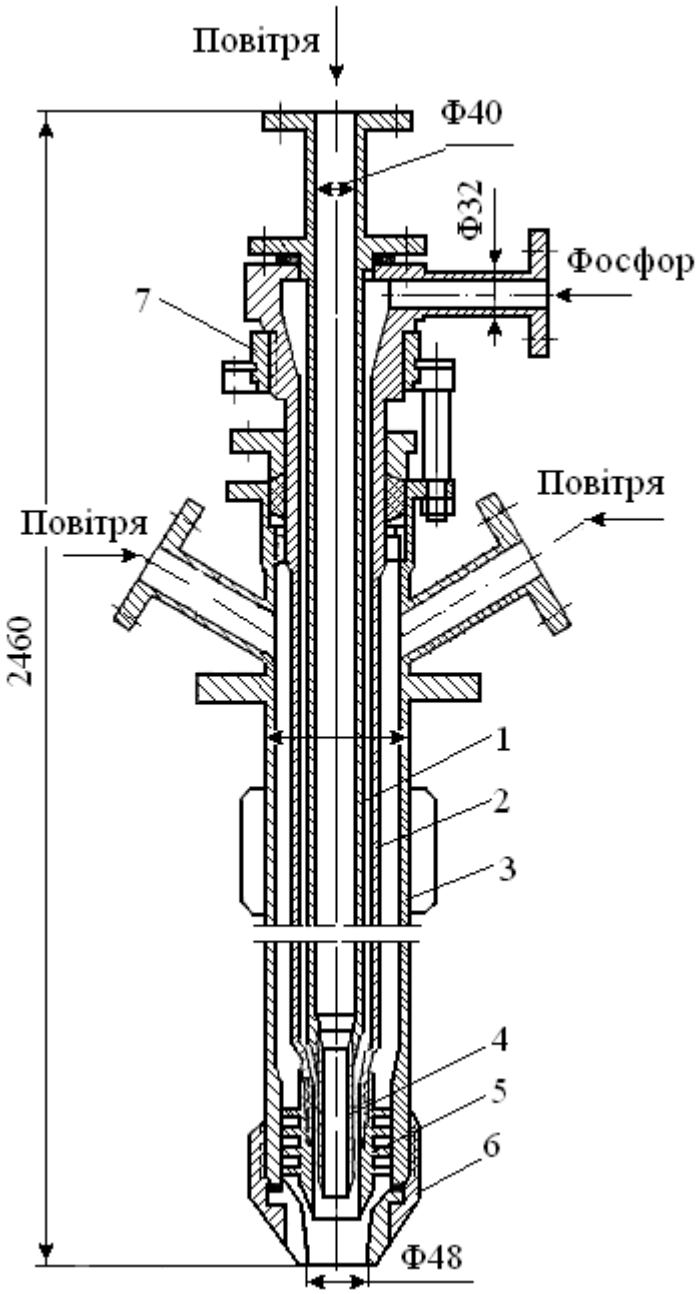


Рис. 5.14. Форсунка для спалювання жовтого фосфору: 1—3 — труби, 4 і 5 — насадки; 6 — мундштук; 7 — гвинт для регулювання зазору

Кількість повітря, подаваного через форсунку на горіння, складає тільки 8,5 % від теоретично розрахованого і становить 1740 м^3/год. У форсунку повітря подається роздільно по 50 % у центральну та в кільцеву труби.

Для спалювання фосфору в невеликій кількості можна застосовувати спеціальні форсунки, корпус яких охолоджується циркулюючим струменем води (рис. 5.15).

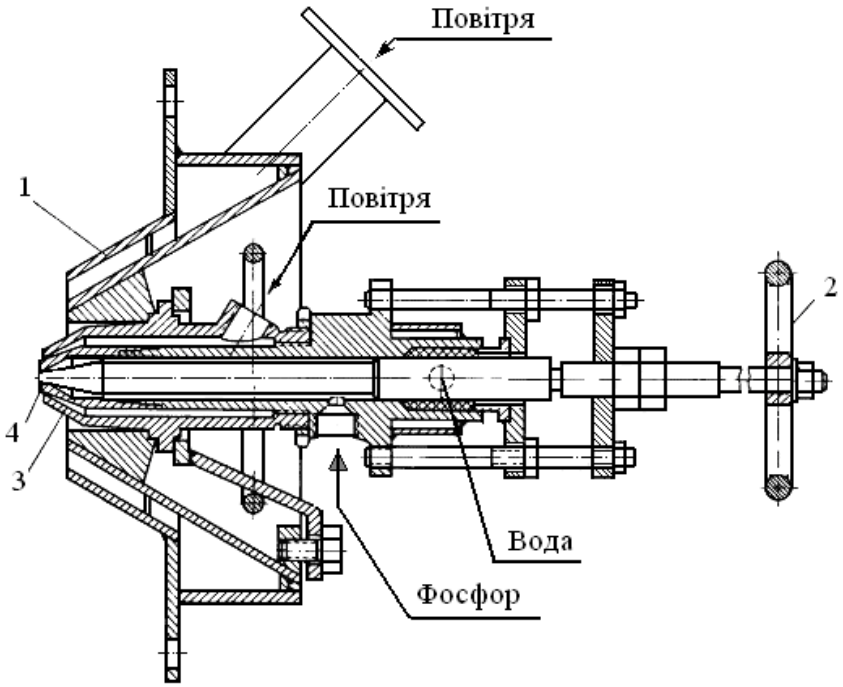


Рис. 5.15. Форсунка для спалювання жовтого фосфору: 1 — корпус; 2 — регулятор; 3 — сопло для подачі повітря; 4 — розпилювач

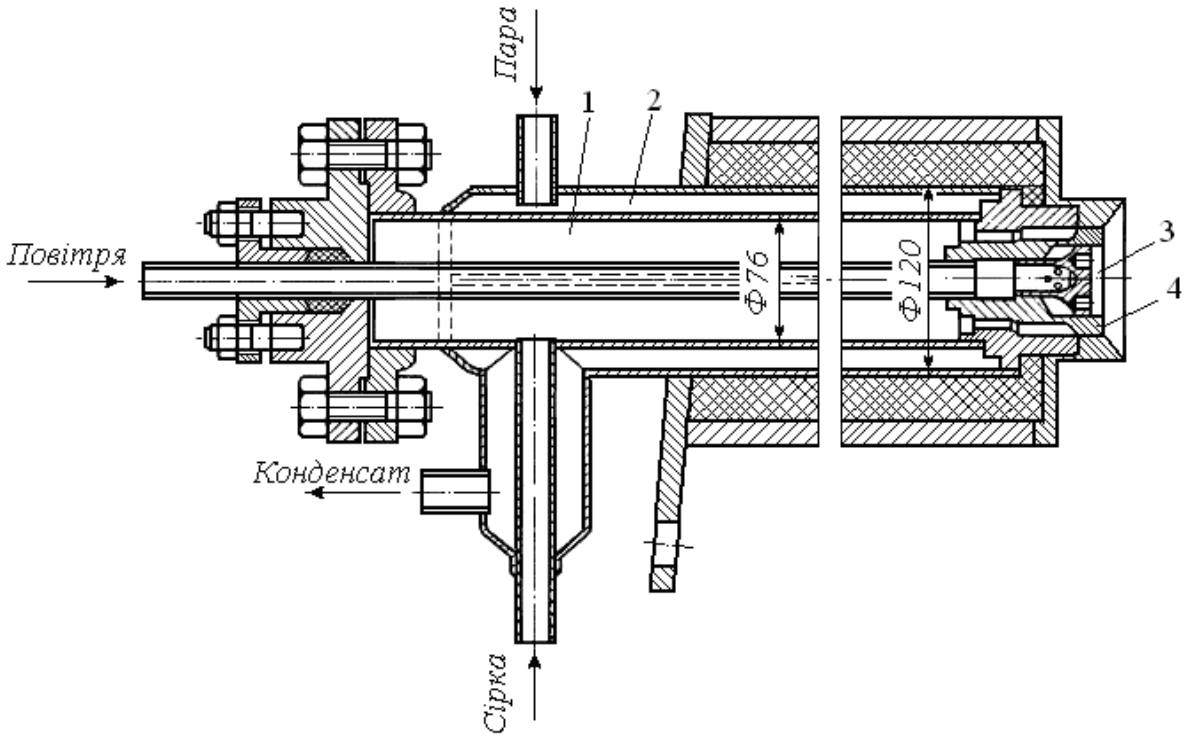


Рис. 5.16. Форсунка для розбризкування розплавленої сірки повітрям: 1 — труба для введення сірки; 2 — парова сорочка; 3 — розпилювач для повітря; 4 — розпилювач для сірки

Форсунки для розпилення розплавленої сірки можуть бути використані тільки при застосуванні чистої сірки (99,999 % сірки). Наявність порожньої породи приводить до засмічення форсунки й зупинки системи. Форсунка для розпилення розплавленої сірки повітрям зображена на рис. 5.16.

Робочий тиск у форсунці створюється шляхом установки

сіркоплавилки на 4—5 м вище форсунок; тиск повітря 700 кПа.

Продуктивність форсунок від 12 до 50 т/добу.

5.3. Трубопроводи печей

Трубопроводи печей поділяють на: газо-, мазуто-, сірко-, фосфоро- і паропроводи.

Газопроводи служать для транспортування паливного газу, повітря, азоту і димових газів. При визначенні діаметрів газових комунікацій на печах виходять з наступних швидкостей газу, м/с: у розподільних газопроводах 10—12; у відводах до пальників 5—7.

При розрахунку газопроводів швидкість газу приймають 25—30 м/с і вище в залежності від робочого тиску перед пальником.

Очищені від зважених часток паливні гази (природний, генераторний, грубний) з низькою температурою зазвичай транспортують не футерованими металевими трубами. Неочищений генераторний газ із температурою вище 300 °С транспортують металевими газопроводами, футерованими вогнетривкою цеглою.

Особливу увагу приділяють трубопроводам, якими транспортується грубний газ від фосфорних печей. Такий газ складається в основному з монооксиду вуглецю (80 %) і містить елементарний фосфор (до 8 %), фосфористий водень, сірководень. Газ токсичний, вибухонебезпечний і через присутність фосфору і фосфористого водню самозаймається.

При проектуванні газопроводу грубного газу для безпечної експлуатації необхідно, щоб газопровід був герметичним і знаходився під надлишковим тиском 30 Па.

Продувка газопроводів і агрегатів, у яких здійснюється спалювання грубного газу, повинна проводитися тільки інертним газом (азотом).

Запірна арматура на газопроводах повинна дублюватися гідравлічними водяними затворами з висотою стовпа рідини, що перевищує в 1,5 рази робочий тиск. Для підтримки постійного рівня води в затворах повинні бути підвідна та переливна труби.

До трубопроводів грубного газу підводять гарячу воду з температурою 80 °С та пару. При розбиранні системи необхідно продути газопроводи інертним газом для видалення грубного газу, пропарити для розігрівання осілого на стиках труб елементарного фосфору, промити гарячою водою для видалення фосфору і тим самим попередити самозапалювання фосфору в

трубах при надходженні повітря та промити холодною водою до повного охолодження.

Газопроводи укладаються пилкою (зигзагоподібно) з ухилом 2—4 %. Конденсат містить частинки елементарного фосфору і тому в нижчих точках трубопроводу патрубки повинні бути з'єднані зі збірником конденсату, де поряд зі стоком конденсату у конусоподібній обігріваємій частині накопичується елементарний фосфор і періодично подається насосом на станцію нейтралізації, чи зливається в спеціальний монжус із водою.

Розпалювання пальників, які працюють на грубному газі, здійснюється запальниками для природного газу. Розпалювання на грубному газі заборонено.

Автоматичне відсічення грубного газу здійснюється спеціальним відсічним електромагнітним клапаном (рис. 5.17), облаштованим обігріваючою водяною сорочкою. Відразу після відсічення грубного газу система автоматично заповнюється інертним газом.

При невисокому підігріванні повітря потрібна зовнішня ізоляція повітропроводів. У випадку підігріву повітря вище 400 °С повітропроводи футерують та ізолюють зсередини. Швидкість у повітропроводах, м/с, приймається наступна: у розподільних повітропроводах 10—12, у відводах до пальників 5—7.

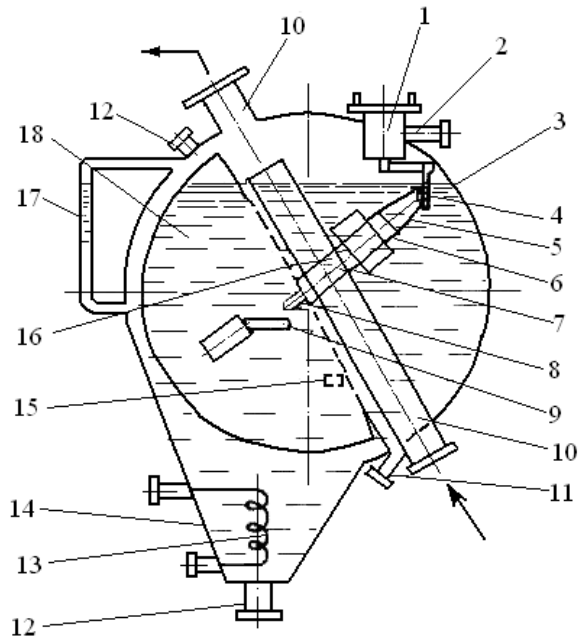


Рис. 5.17. **Відсічний клапан для грубного газу від фосфорних печей: 1 — електромагніт; 2 — штуцер; 3 і 6 — осі; 4 — засувка; 5 — собачка; 7 — важіль; 8 — палець; 9 — кінцевий вимикач; 10 — газохід; 11 — переливний патрубок; 12 — патрубок; 13 — змійовик; 14 — корпус; 15 — упор; 16 — вантаж; 17 — водомірна трубка**

Трубопроводи грубного газу повинні бути ізольовані для запобігання конденсації грубного газу.

Повітропроводи служать для подачі повітря на горіння, а також для охолодження печей і хімічних продуктів до необхідних температур. Їх звичайно роблять зварними зі сталевих листів товщиною 3 мм.

Схема обв'язувальних газопроводів на печах і топках, обладнаних інжекційними пальниками середнього тиску й устроями-кранами, які відключають систему, наведена на рис. 5.18.

Азотопроводи служать для подачі азоту як інертного газу до печей фосфорного виробництва, трубопроводів та іншого устаткування для заповнення у випадку відключення грубного газу з метою запобігання самозапалювання фосфору, що відклався на їхніх стінках, при надходженні кисню повітря. Швидкість в азотопроводах приймається 10 м/сек. Для

азотопроводів використовуються водо- газопровідні труби з вуглецевої сталі.

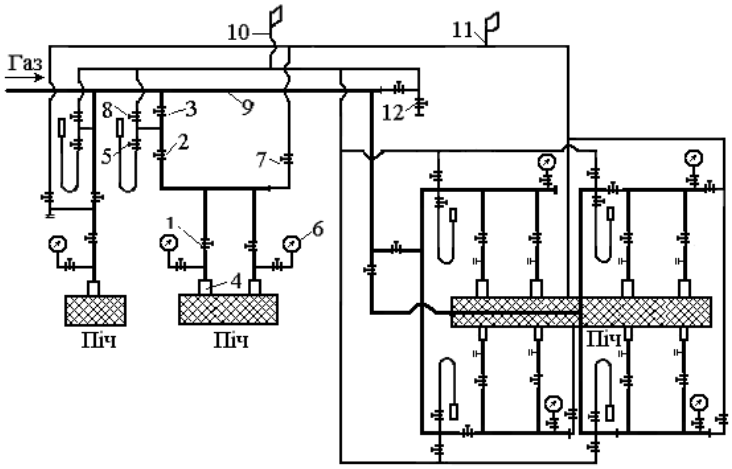


Рис. 5.18. **Схема обв'язувальних газопроводів на печах, обладнаних інжекційними пальниками середнього тиску й відключаючими устроями-кранами: 1 — робочий кран; 2 — контрольний кран; 3 — головний кран; 4 — інжекційний пальник; 5 — кран на штуцері до запальника; 6 — показуючий манометр; 7 — кран на трубопроводі безпеки; 8 — кран на продувному трубопроводі; 9 — цеховий газопровід; 10 — об'єднаний продувний трубопровід; 11 — об'єднаний трубопровід безпеки; 12 — кран пробковий для взяття проби при продувці цехового газопроводу**

Димові гази звичайно відводять від печей цегельними каналами-боровами (лежаками). Якщо боровів немає, димові гази транспортують трубопроводами, звареними з листової сталі товщиною 4 мм.

При невисокій температурі димових газів необхідна зовнішня ізоляція, трубопроводи, якими транспортуються димові гази з температурою вище 400 °С, теплоізолюються зсередини.

Швидкість димових газів у трубопроводах у залежності від температури і тягових пристроїв приймається 3—10 м/с.

Мазутопроводи призначені для подачі мазуту до форсунок печі. Для хорошої роботи мазутних топок необхідно забезпечити мінімальне обводнювання мазуту, гарний його підігрів, фільтрування, а також підтримку визначених параметрів (тиску,

в'язкості). Попередня підготовка мазуту для спалювання проводиться в мазутосховищах.

Підігрівання мазуту тільки в мазутосховищах недостатньо, тому що він може остудитися в трубопроводах і надійти до форсунок холодним. Особливо велика небезпека охолодження мазуту при перервах у роботі, коли припиняється циркуляція його в окремих ділянках мазутопроводу. Найкращою схемою мазутопроводів варто вважати циркуляційну схему, коли мазут постійно циркулює кільцевим мазутопроводом. При цьому його кількість в 3—4 рази перевищує потребу. Для нагрівання мазуту до 70— 80 °С всі мазутопроводи аж до форсунок повинні постійно підігріватися за допомогою паропроводу (парового "супутника"), Супутник та мазутопровід мають одну загальну ізоляцію (рис. 5.19). Для пари повинний бути передбачений надійний відвід через конденсаційний горщик, щоб конденсат не застоювався у відгалуженнях.

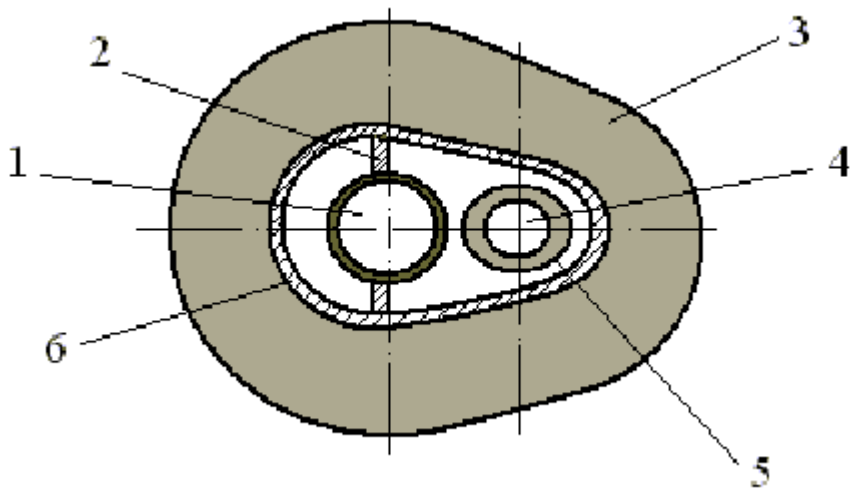


Рис. 5.19. Схема обігріву і теплоізоляції мазутопроводу: 1 — мазутопровід; 2 — дерев'яна рейка; 3 — теплоізоляція; 4 — паропровід; 5 — муфта; 6 — листова сталь

Фільтрування мазуту необхідно для забезпечення безперебійної роботи форсунок.

На рис. 5.20 показана конструкція малого фільтру, встановлюваного перед окремими форсунками.

На рис. 5.21 зображений пластинчастий фільтр для мазуту ФП-1 оригінальної конструкції.

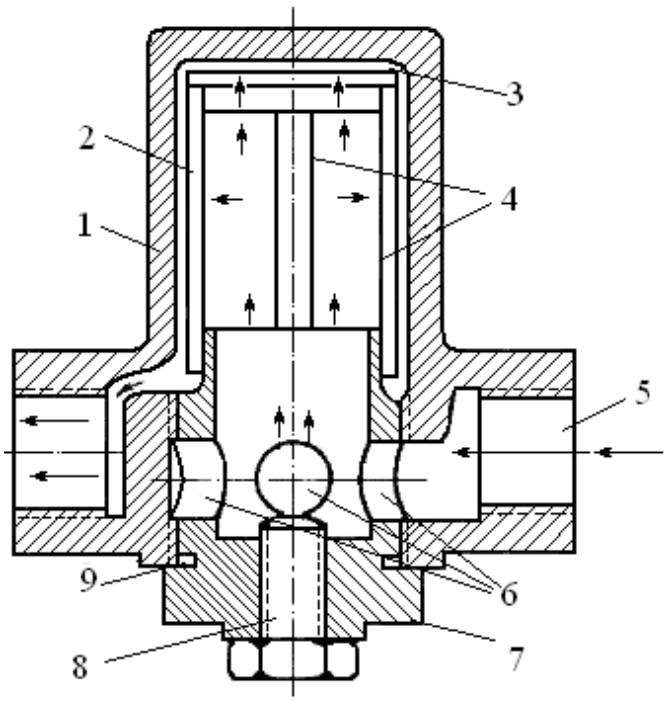


Рис. 5.20. Малий фільтр, установлюваний перед форсунками: 1 — корпус; 2 — циліндрична сітка; 3 — простір проходу мазуту; 4 — стійки, 5 — штуцер для виходу мазуту; 6 — прохідні отвори; 7 — пробка; 8 — гвинт; 9 — різьба

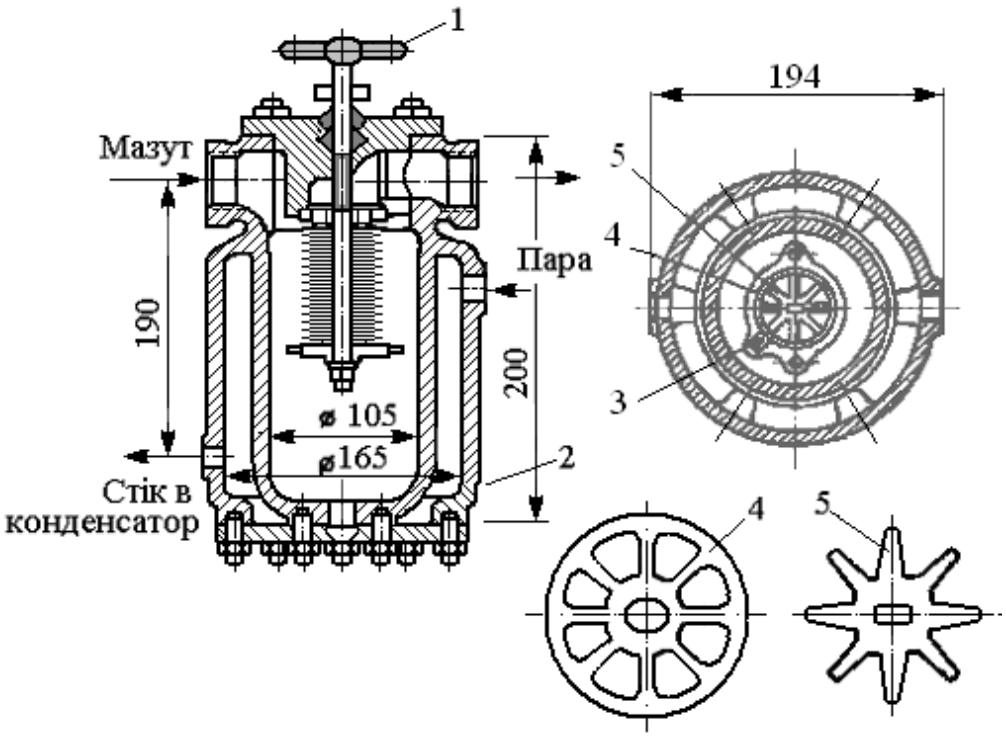


Рис. 5.21. Пластинчастий фільтр для мазуту ФП-1: 1 — рукоятка; 2 — корпус; 3 — нерухомі шкребки; 4 — пластина; 5 — прокладка

Схема типового мазутопроводу наведена на рис. 5.22.

Швидкість у мазутопроводах приймається 0,5—1,0 м/с.

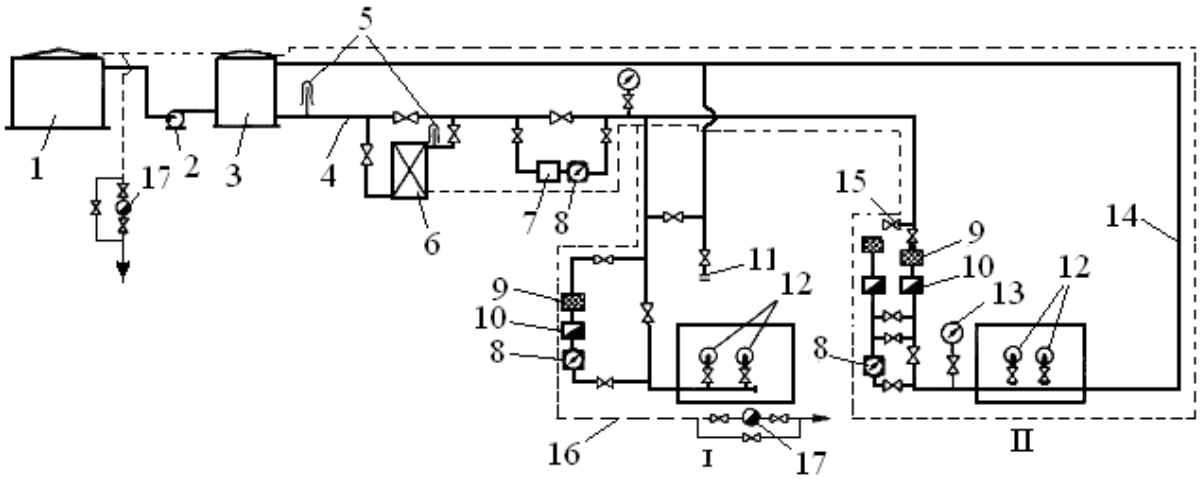


Рис. 5.22. Схема цехового мазутопроводу: I — тупикова система подачі мазуту; II — циркуляційна система подачі мазуту; 1 — заводське мазутосховище; 2 — насос для подачі мазуту; 3— цехові баки; 4 — мазутопровід; 5 — термометри; 6 — мазутопідігрівач; 7 — регулятор тиску; 8 — витратомір; 9 — сітчастий фільтр; 10 — пластинчастий

фільтр; 11 — зливальний патрубок; 12 — форсунка; 13 — манометр; 14 — зворотна лінія; 15 — кран; 16 — паровий супутник мазутопроводу; 17 — конденсатовідокремлювач

Сіркопроводи призначені для транспортування розплавленої сірки від сіркоплавилки до форсунок печей для спалювання й у реактори сірковуглецевих печей.

Сірка має найбільшу плинність при 140—150 °С. Тому сіркопроводи обладнують сорочкою й обігрівають парою під тиском 600 кПа. При цьому температура стінки буде 145—150 °С, що забезпечить оптимальну плинність сірки.

Підведення пари здійснюється таким чином, щоб можна було виключати обігрів сіркопроводу на окремих ділянках без відключення пари на інші ділянки й апарати. Для запобігання застою конденсат відводять роздільно від кожного апарату й від невеликих ділянок сіркопроводу в загальний конденсатопровід. Сіркопровід монтується винятково на фланцевих з'єднаннях; на рис. 5.23 показаний вузол приєднання сіркопроводу з обвідною перемичкою, який слід приварити до сорочки, що обігрівається, у горизонтальній площині до сіркопроводу.

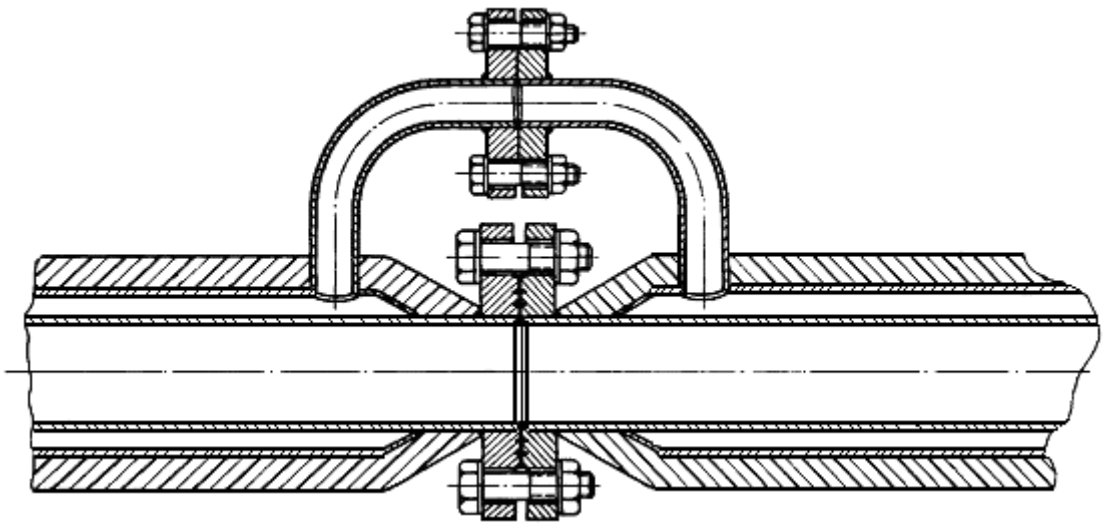


Рис. 5.23. Вузол стикування сіркопроводів

Сіркопроводи обов'язково теплоізолюють і прокладають з ухилом 1 : 5000; це сприяє спорожнюванню їх під час вимушених зупинок та при ремонті. Сіркопроводи не повинні провисати. Виготовляють їх зі сталевих суцільнотягнених труб і швидкість руху сірки в них приймається 1—1,5 м/сек.

Як запірну арматуру використовують сальникові пробкові крани з паровими сорочками.

Фосфоропроводи призначені для транспортування розплавленого фосфору зі складу фосфору до форсунки вежі спалювання чи до печей. Фосфоропровід так само як і мазутопровід прокладається з паровим супутником. Тиск пари 400 кПа, що забезпечує температуру на поверхні фосфоропроводу 70—80 °С. Фосфоропровід виготовляють з нержавіючої сталі Х18Н10Т й окремі частини його з'єднують фланцями.

Трубопровід укладають з ухилом 1 : 5000 і обов'язково теплоізолюють. Швидкість руху фосфору по фосфоропроводу приймається 1—2 м/сек. На фосфоропроводі встановлюється штуцер із краном для підведення гарячої води (70—80 °С) для промивання фосфоропроводу. Промивання здійснюють протитечійно.

Паропроводи призначені для транспортування пари, необхідної для обігрівання мазуту, фосфору, сіркопроводів, форсунок для сірки і фільтрів, а також для розпилення мазуту в мазутних форсунках.

Діаметр паропроводу визначається виходячи з тиску пари і необхідної поверхні паропроводу, який обігрівається, при заданій температурі матеріалу, що транспортується.

5.4. Димарі

У димарі створюється розрідження, необхідне для відводу продуктів горіння палива і реакційних газів з печі в навколишній простір на великій висоті. Гази, що викидаються, містять шкідливі речовини, гранично допустимі концентрації яких регламентовані санітарними нормами проектування промислових підприємств. Тому, після розрахунку розмірів труби, необхідна перевірка на концентрації шкідливих домішок біля поверхні землі.

Відповідно до вимог санітарної техніки висота димаря

повинна бути на 3—5 м вища гребеня даху найвищого будинку

в радіусі 100 м.

Зразки димарів, які застосовуються в промисловості неорганічних речовин, представлені на рис. 5.24.

Цегельні димарі мають максимальну висоту 150 м, допустима температура газів, що пропускаються через них, 800 ^{o}C.

Для залізобетонних труб допускається висота 200 м і температура газів до 200 °С.

Труби зі звичайного бетону, за наявності футерівки та теплоізоляції, не повинні нагріватися більше 500 °С. Металеві футеровані труби роблять висотою до 60 м. Температура в металевих трубах дозволяється до 800 °С.

Для викиду агресивних газів із печей частіше застосовують металеві труби, зібрані з царг із нержавіючої сталі, висотою до 150 м, установлених на опорних конструкціях, що дозволяє заміну будь-якої частини труби.

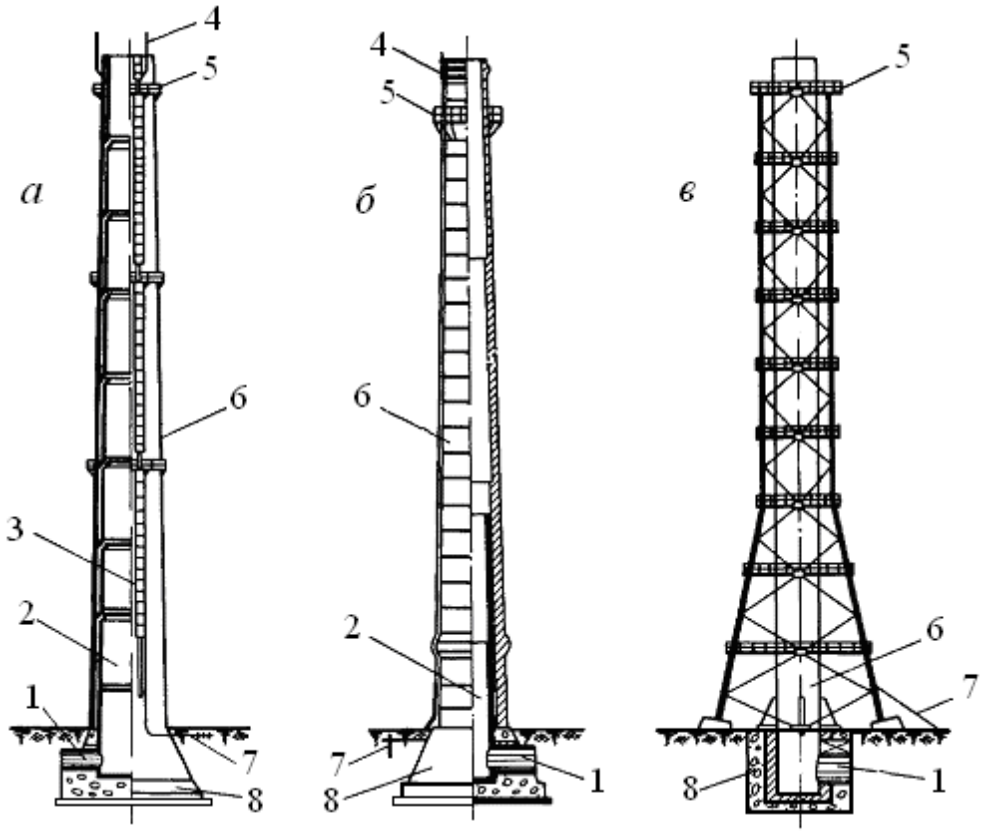


Рис. 5.24. Димарі: а — залізобетонний; б — цегельний; в — металевий: 1 — фундамент; 2 — вогнетривка футерівки; 3 — стовбур труби; 4 — площадка; 5 — бора; 6 — блискавковідвід, 7 — заземлення; 8 — сходи

Розрахунок розмірів димаря. Площа поперечного перетину устя труби визначається за формулою

$$f = \frac{V}{\omega},$$

звідси діаметр в усті труби:

$$\mathrm{d} = \sqrt{\frac{4\mathrm{V}}{\pi\omega}},$$

де V — об'єм газів, що відходять, м^3/с; ω — швидкість газів в усті труби, м/с.

Швидкість газів не повинна виходити за межі 2—8 м/с. При швидкості менше 2 м/сек виникає небезпека затікання холодного повітря через устя труби, а при швидкості більше 8 м/сек стає занадто великим гідравлічний опір. Для всіх типів труб діаметр устя повинний бути не менш 800 мм.

Величина розрідження ΔР, необхідного для нормальної роботи печі, визначається за сумою опорів: місцевих $\Sigma h_М$, тертя $\Sigma h_Т$, і геометричного напору $\Sigma h_г$:

$$\Delta P = k(\Sigma h_М + \Sigma h_Т + \Sigma h_г).$$

При визначенні величини враховуються опори димового тракту і самого димаря. Кількість газів, що відходять, і їхня температура на різних ділянках тракту приймається з урахуванням підсмоктування повітря. Для компенсації неврахованих опорів через порушення технологічного режиму і засмічення каналів уводиться коефіцієнт запасу k = 1,2—1,4.

Висота димаря Н визначається за формулою:

$$H = \frac{\Delta P}{(\rho_в - \rho_г) g \frac{B}{1{,}01325 \cdot 10^5}}.$$

де ΔР — необхідне розрідження з урахуванням запасу, Па; $\rho_в$ — густина повітря при максимальній для даного району літній температурі, кг/ м^3; $\rho_г$ — густина газів, що відходять, при середній температурі в димарі, кг/м^3; g — прискорення сили тяжіння, м/сек^2; В — барометричний тиск, Па.

Густина повітря при 0 °С ($\rho_в$) може бути прийнята рівною 1,29 кг/м^3, а газів ($\rho_г$) = 1,3 кг/м^3. При розрахунках варто враховувати падіння температури в каналах та димарях внаслідок віддачі тепла в навколишнє середовище. Орієнтовані значення втрат тепла дані в табл. 5.4. та 5.5.

Таблиця 5.4. **Втрати теплоти в каналах**

Температура, °С	Падіння температур в каналах, град/пог. м		
	підземних цегельних	Наземних цегельних	
		ізольованих	неізольованих
200 — 300	1,5	1,5	2,5
300 — 400	2,0	3,0	4,5
400 — 500	2,5	3,5	5,5
500 — 600	3,0	4,5	7,0
600 — 700	3,5	5,5	10,0

Таблиця 5.5. **Падіння температури (у град/м) продуктів горіння в димарях:**

Металеві не футеровані	2 — 4
Цегельні	0,5 — 2,5

Середня температура повітря $t_в$ по висоті труби визначається за формулою:

$$t_в = t'_в - \frac{\sqrt{H}}{2}.$$

де Н — орієнтовна висота труби, м; $t'_в$ — температура повітря в підніжжі труби, яка залежить від кліматичних умов, °С:

Клімат	$t'_в$
Помірний	5 — 20 °С
Жаркий	15 — 25 °С

Холодний –10 — + 10 °С

Коефіцієнт тертя ? об стінки труби можна приймати:

Для цегельних труб 0,05

Для металевих труб 0,03

Для визначення орієнтовної висоти димаря можна користатися рис. 5.25, складеним для температури зовнішнього повіт-ря 0 °С.

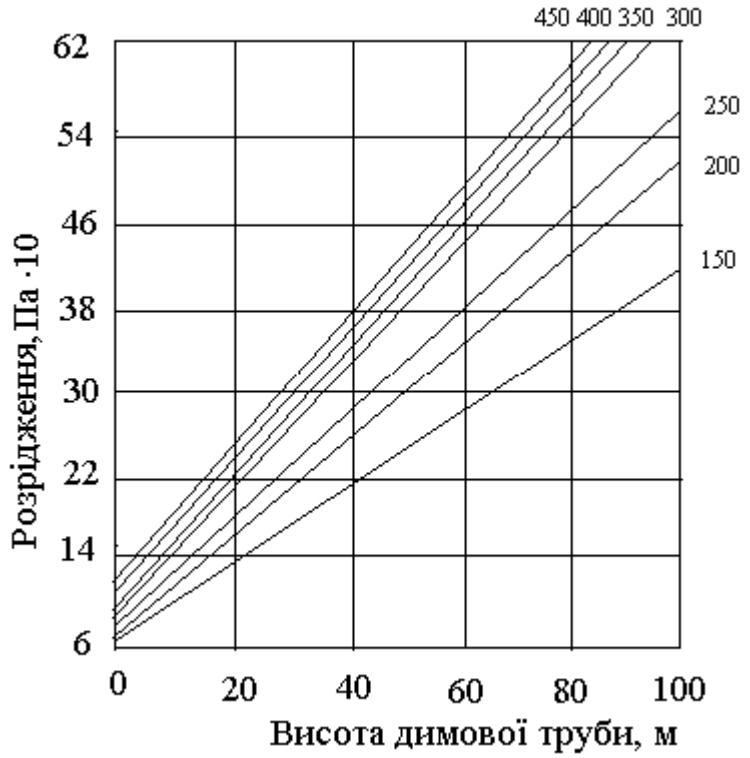


Рис. 5.25. Графік для визначення орієнтовної висоти димової труби при температурі зовнішнього повітря 0 °С. Числа на графіку визначають температуру газів, що відходять, °С

Визначення ефективної висоти викиду проводиться за формулою:

$$H_e = H_т + \Delta h,$$

де H_e — ефективна висота викиду, м; $H_т$ — дійсна висота труби, м; Δh — узвишшя струменя над устям труби (у м) при n = 0 (n — величина, що залежить від стійкості атмосфери, тобто від температурного градієнта, що спостерігається; у звичайних умовах вона знаходиться в межах 0—0,5).

Узвишшя струменя над устям труби визначається за формулою:

$$\Delta h = \frac{1{,}9D\omega}{\omega_в},$$

де D — діаметр труби, м; ω — швидкість димових газів в усті труби, м/сек, $\omega_в$ — швидкість вітру на висоті $H_т$, м/сек.

Швидкість вітру знаходять за формулою:

$$\omega_в = \omega_0\varphi,$$

де ω_0 — швидкість вітру на висоті 10 м, м/сек; φ — коефіцієнт, який враховує зміну швидкості вітру за висотою й визначається з табл. 5.6.

Таблиця 5.6. **Зміни значення φ у залежності від висоти труби**

Значення висоти труби, м	Значення φ		Значення висоти труби, м	Значення φ	
	при n = 0	при n = 0,2		при n = 0	при n = 0, 2
20	1,15	1,19	120	1,54	1,79
40	1,30	1,39	140	1,57	1,85
60	1,40	1,57	160	1,60	1,89
80	1,46	1,63	180	1,63	1,92
100	1,50	1,71	200	1,65	1,95

Питому концентрацію газу R, тобто концентрацію газу від джерела забруднення потужністю 1 г/сек при швидкості вітру 1 м/сек знаходять за формулою:

$$R = \frac{c_0 \omega_0}{M_T},$$

де c_0 — концентрація газу біля поверхні землі, мг/м^3; $M_т$ — потужність джерела, г/с.

Концентрація газу c_0 визначається як:

$$c_0 = \frac{RM_T}{\omega_0}.$$

Отримана концентрація зіставляється з гранично допустимими концентраціями шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених місць. Якщо обчислена концентрація не відповідає санітарним нормам, змінюють висоту димаря і розрахунок повторюють.

5.5. Апарати для відділення пилу й крапель від газів

У хімічних виробництвах багато процесів супроводжуються утворенням аэрозолів — колоїдних систем, що складаються з газового середовища, у якому зважені тверді або

рідкі частки. До аэрозолів відносять: пили, дими (газ + тверді частки) і тумани (газ + рідкі частки).

У інженерній практиці, як правило, пилом називають не тільки середовище зі зваженими частками, а також самі пилові частки різноманітного походження, у тому числі осілі. Пилові частки мають розміри 5—100 мкм. Розміри часток у димах 0,001— 5 мкм, у туманах 0,3—3 мкм.

У газових системах частки розміром 0,1 мкм і нижче знаходяться в броунівському русі й практично не осідають під дією сили ваги.

В залежності від фізичного стану газової неоднорідної системи можна застосовувати різноманітні методи для її поділу, а в ряді випадків — комбінувати декілька методів. Так, поділ туманів здійснюють дифузійними, абсорбційними й іншими методами. Для очищення вибухонебезпечних гарячих газів використовують метод звукової агломерації, заснований на дії на неоднорідну газову систему високоінтенсивних звукових коливань. При цьому тверді частки в результаті зіткнень укрупнюються, що призводить до полегшення їхнього уловлювання. Поділ неоднорідної системи в будь-якому апараті відбувається під дією багатьох чинників.

У залежності від природи основних сил, які діють на зважені частки, тобто за основною та визначальною (але не єдиною) ознакою, методи поділу класифікують на: дифузійні, абсорбційні, гравітаційні, відцентрові, електричні й ін.

Апарати для очищення газових неоднорідних систем поділяють на: апарати сухої очистки фільтруванням (тканинні, набивні і пористі фільтри), осаджувальні (осаджувальні камери, відцентрові апарати - аэроциклони, інерційні осаджуватели, электроосаджуватели); апарати мокрого очищення (статичні, барботажні та пінні апарати, динамічні газові промивачі, інерційні, струминні та відцентрові пиловловлювачі).

Різноманітний асортимент апаратів пояснюється різноманіттям технологічних процесів, властивостей газових сумішей і умов експлуатації. Установки, що уловлюють пил, можуть складатися з декількох апаратів різноманітного типу. Так, у сульфатнокислотному виробництві обезпилювання грубних газів здійснюють спочатку грубою очисткою у циклонах типу СК-ЦН-34, а потім у електрофільтрах типу УНТ 1-20-3. Ступінь очищення складає 99,2—99,9 %.

5.5.1. Апарати сухого очищення

Апарати сухого очищення застосовують у тих випадках, коли не допускається зволоження системи, яка розділяється.

Фільтри рукавні служать для поділу газового потоку і твердих домішок шляхом перепускання крізь пористу перегородку (рис. 5.26).

Відділення часток твердої фази у фільтрі відбувається в результаті втрати кінетичної енергії в звивистому каналі та затримці їх на стінці каналу (лабіринтовий ефект) або на

вхідному перетині каналу (ситовий ефект) при розмірі частки, який перевищує перетин.

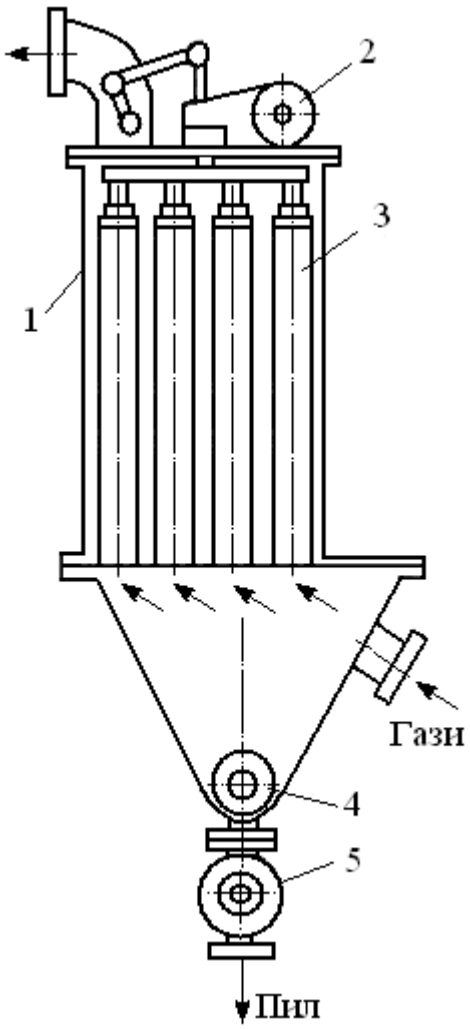


Рис. 5.26. Рукавний фільтр: 1 — корпус; 2 — струшувач; 3 — рукави; 4 — шнек; 5 — затвор

При тривалому використанні фільтра на його поверхні накопичується прошарок пилу, який сам стає фільтруючим прошарком. Фільтрувальні перегородки бувають гнучкими, напівжорсткими, жорсткими. Їх вибирають у залежності від хімічних властивостей газу, його температури, розмірів зважених часток, заданого ступеня очищення газу.

Для регенерації фільтрувальної тканини існує декілька способів: струшування рукавів, зворотне продування тканини повітрям, поєднання обох прийомів.

Промисловість випускає рукавні фільтри типу ФВС (фільтри всмоктувальні) із загальною фільтрувальною площею поверх-ні від 30 до 90 м^2. Є фільтри, у яких площа фільтрування досягає 25000 м^2. Для промислового пиловловлювання і санітарного очи-щення газів служить рукавний фільтр РФК-300

продуктивністю по газу до 30000 $м^3$/год і площею фільтрування (10 секцій) 300 $м^2$.

До достоїнств рукавних фільтрів відносять: високий ступінь очищення незалежно від концентрації частинок; уловлювання частинок незалежно від тиску; здатність працювати до 300 °С.

Недоліками є: необхідність періодичної регенерації або заміни фільтрувальної тканини; громіздкість установок; підвищена витрата електроенергії.

Електрофільтри (рис. 5.27) основані на наступному принципі роботи. На коронуючі електроди подається постійна напруга 10—100 кВ негативної полярності, осаджувальні електроди з'єднані з землею. Газ, що містить частинки, в електричному полі іонізується, частинки одержують електричний заряд, за рахунок чого рухаються до протилежно зарядженого електрода й осідають на ньому. Швидкість пересування частинок $\upsilon_ч$ (м/с) до електрода залежить від напруженості електричного поля Е (В/м), динамічної в'язкості газу $\mu_г$ (Па·с) та радіуса частинок $r_ч$ (м):

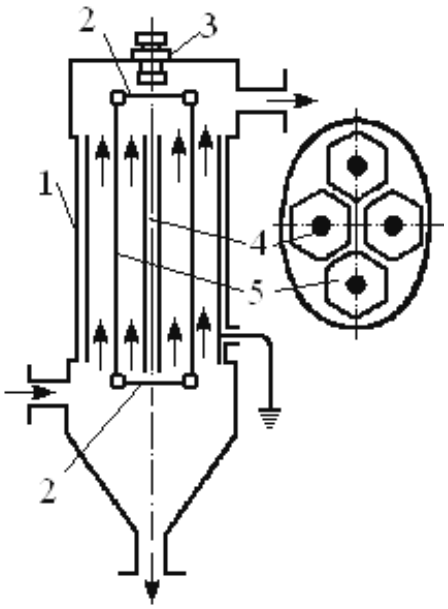


Рис. 5.27. Схема трубчастого електрофільтра: 1 — корпус з конічним дном; 2 — рами; 3 — ізолятор; 4 — коронуючий електрод; 5 — осаджувальний електрод

$$\upsilon_ч = 0{,}118 \cdot 10^{-10} E^2 r_ч / \mu_г.$$

Ефективність очищення (%) пластинчастим електрофільтром визначають за формулою:

$$\eta = 1 - \exp[-\upsilon_ч L / (H\upsilon_г)],$$

де L — довжина електрода, м; H — відстань між електродами, м; $\upsilon_г$ — лінійна швидкість газу у фільтрі, м/с.

У маркіруванні електрофільтрів (наприклад, типу ОГ-3-21; ОГ-4-16) показаний перетин камери (21 і 16 $м^2$), а цифри 3 і 4 вказують, що вони 3- або 4-полюсні.

Електрофільтри застосовують у сірчанокислотному виробництві для очищення обпалювальних газів від огаркового пилу (сухі фільтри) і сірчанокислотного туману (мокрі фільтри); у виробництвах соди, фосфорної кислоти, хромових солей; для очищення газу вапняково-обпалювальних печей та інших газів, які відходять. Так, електрофільтр типу ГПФМ-22-9 продуктивністю по газу 31—680 $м^3$/год призначений для очищення газів, які відходять.

Переваги електрофільтрів: високі ступінь очищення (99,9 %) та продуктивність; незначний гідравлічний опір; можливість здійснення сухого і мокрого очищення при температурі до 400 °С. Недоліки: енергоємність, дорожнеча конструкції, підвищена електронебезпечність.

Циклони — апарати для очищення газів, які грунтуються на використанні відцентрових сил. Найпоширеніші циклони марок ЦН, СК-ЦН, СДК-ЦН, ЛИОТ, ВЦНИИОТ, ЦИОТ, що мають ступінь очищення газу від пилу 0,63—0,37 при гідравлічному опорі 1 кПа і витраті повітря 1800 м^3/год. При великих витратах газу (більш 5500 м^3/год) застосовують групу циклонів.

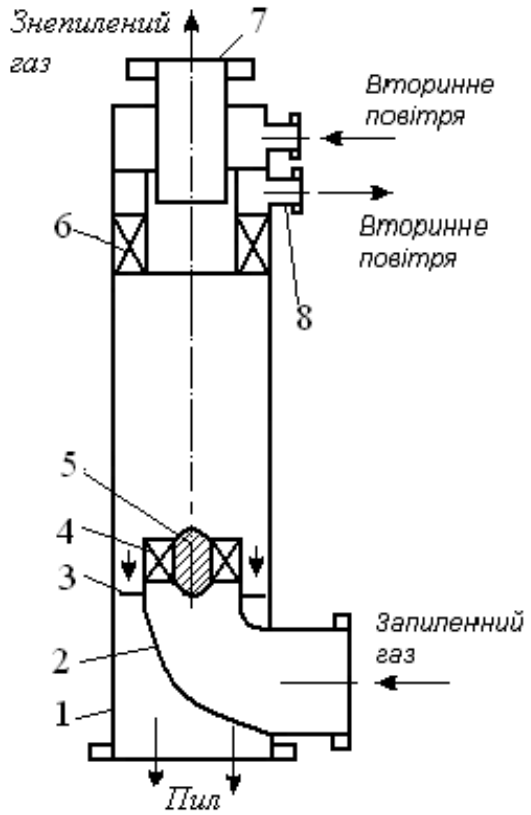


Рис. 5.28. Вихровий пиловловлювач лопаточного типу: 1 — корпус; 2, 7, 8 — патрубки; 3 — підпірна шайба; 4, 6 — закручувач потоку; 5 —

Пиловловлювачі — устрої для вловлювання пилу й інших механічних домішок із повітряних (газових) потоків. Існує багато типів цих апаратів, які відрізняються за фізичним ефектом, використовуваним для відділення пилу, й за конструктивними ознаками. Вибір пиловловлювача обумовлений ступенем запиленості повітря і вимогами до його очищення.

Останнім часом усе більше поширення знаходять вихрові пиловловловлювачі (ВПУ). Ступінь очищення цими апаратами при продуктивності 330—300000 м^3/год складає 0,98—0,99 (рис. 5.28).

Запилений газ надходить по патрубку 2, облаштованому кільцевим лопатковим закручувачем потоку 4 і обтічником 5. Вторинне повітря подається патрубком 8 через кільцевий закручувач 6 і опускається вниз до підпірної шайби 3. Пил відкидається до стінок корпусу й зсипається в бункер.

5.5.2. Апарати мокрого очищення

Апарати мокрого очищення застосовують у тих випадках, коли допускається зволоження й охолодження газу, що очищається, а зважені частки малоцінні або можуть бути використані у вологому стані. В порівнянні з апаратами сухого очищення вони, як правило, більш ефективні. Проте, оскільки для їхньої роботи потрібні значні кількості води й організація системи оборотного водопостачання з видаленням шламу, їх доцільно застосовувати на підприємствах, де це економічно виправдано.

Пиловловлювачі. За принципом роботи пиловловлювачі мокрого очищення умовно поділяють на декілька груп:

І. Порожнисті і насадочні скрубери, у яких промивання газів здійснюють розбризкуванням рідини по ходу потоку, поперек потоку і назустріч газовому потокові, який несе частинки. Швидкість газу в скрубері 0,8—1,25 м/с. Гідравлічний опір у порожнистих скруберах не перевищує 250 Па, а в насадкових коливається в межах 300—800 Па в залежності від товщини прошарку насадки. Основний недолік останніх — часте забивання насадки.

У виробництві сірчаної кислоти для технічного і санітарного очищення туманів використовують двоступеневий волокнистий тумановловлювач продуктивністю за газом 5000—

150000 $м^3$/год. Ступінь очищення 95—99 %, гідравлічний опір 2 —3 кПа, число фільтруючих елементів — 1—15.

II. Циклони, у яких газовий потік промивають водяною завісою. Прототипом є циклон ЛИОТ із водяною плівкою продуктивністю 1250—10000 $м^3$/год, при витраті води 0,13—0,3 кг/$м^3$ і гідравлічному опорі 400—800 Па. Циклони з водяною плівкою марки ЦВП мають діаметр циліндра 315, 400, 500, 630, 800 і 1000 мм, гідравлічний опір 400—2000 Па і розраховані на продуктивність від 1 до 20 тис.$м^3$/год, При компонуванні двох циклонів (ЦВП) продуктивність досягає 40 тис. $м^3$/год.

III. Вентиляторний мокрий пиловловлювач (ВМП), застосовуваний для очищення вентиляційних викидів від свинцевого, кремнеземного, вугільного й інших видів промислового пилу. Гідравлічний опір пиловловлювача ВМП-ЛИОТ складає 400— 600 Па. При вмісті в 1 $м^3$ повітря більш 5 г частинок необхідне його попереднє очищення в сухих пиловловлювачах.

IV. Пінні пиловловлювачі, в яких частинки затримуються в рухливій водяній плівці (піні). Швидкість подаваного газу 1,6—2,6 $м^3$/с, гідравлічний опір 300—1700 Па. Розроблено апарати з провальними та переливними решітками продуктивністю 0,58—14,45 $м^3$/с.

Порівняльні характеристики апаратів для очищення газів від пилу та туману надані в табл. 5.7.

Таблиця 5.7. **Порівняльні характеристики апаратів для очищення запилених газів**

Тип апарату	Початковий вміст дисперсної фази (г/м^3)	Ступінь очищення, %
Апарати сухого очищення		
Фільтри		
тканинні	0,2	До 99,5
набивні (насипні)	1 мкм	До 99
пористі	5 мкм	До 99,5
Осаджувальні камери	—	40—60
Аэроциклони		
одиничні	1	До 90
батарейні	—	До 95
Інерційні осаджувачі	0,2—10	60—75
Електроосаджувачі	—	До 99,5
Апарати мокрого очищення		
Статичні апарати	—	60-75
Динамічні газопромивачі	20	До 95
Барботажні та пінні апарати	300	До 99
Пиловловлювачі		
інерційні	—	75—90
струминні	—	До 99
відцентрові	2	До 99

Електрофільтри мокрого очищення застосовують для уловлювання туману та дрібних бризок кислот (наприклад, у виробництві сірчаної кислоти й ін.). Принцип дії й устрій цих

апаратів ті ж, що й електрофільтрів сухого очищення, з тієї лише різницею, що перші виготовляють із корозійностійких матеріалів.

До переваг електрофільтрів мокрого очищення відносять: високий ступінь очищення при високій температурі; можливість одночасного охолодження, конденсації, адсорбції й очищення газів. Недоліками є: можливість розчинення пилу, його цементації в уловлювачах і комунікаціях; корозія пиловловлювачів.

Запитання і вправи для самоконтролю

1. Які типи печей застосовують в технології неорганічних речовин?
2. Назвіть параметри печей, які випускає Бердичівський завод „Прогрес”.
3. З яких частин складається обертова піч?
4. Для переробки якої сировини можна застосувати шахтну піч?
5. Які печі застосовують для випалу колчедану?
6. Для чого потрібні пальники? Якими вони бувають?
7. Як розраховується необхідна витрата газу на процес спалювання для пальників?
8. Для чого служить запальник?
9. Чи можна спалювати жовтий фосфор за допомогою форсунки?
10. Поясніть устрій форсунки для розбризкування сірки.
11. Особливості трубопроводів для передавання грубного газу.
12. Для чого потрібний відсічний клапан для грубного газу від фосфорних печей?
13. Правила обслуговування мазутопроводів у зимовий період.
14. Перелічіть типи фільтрів, які встановлюються на мазутопроводах.

15. Які димарі і для чого їх застосовують в виробництві неорганічних речовин?
16. Основні принципи розрахунків димарів.
17. Які апарати застосовують для відділення пилу і крапель від газів?

Розділ 6. ТРАНСПОРТНЕ УСТАТКУВАННЯ ЗАВОДІВ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

Чітка робота сучасного підприємства пов’язана з правильно організованою та надійно працюючою системою транспортування. За територіальною ознакою транспорт розділяють на зовнішньо- і внутрішньозаводський.

6.1. Зовнішньозаводський транспорт

Зовнішньозаводський транспорт призначений для постачання підприємства сировиною, матеріалами, устаткуванням і для вивозу з підприємства готової продукції й відходів. Операції транспортування виконують у цьому випадку засобами залізничного, водного, автомобільного, трубопровідного і конвеєрного транспорту.

Залізничний транспорт завдяки високій вантажопідйомності, малій залежності від кліматичних умов, високій маневреності й економічності забезпечує основний вантажопотік. Його використовують для перевезення штучних, сипучих і рідких матеріалів.

В даний час поширена залізниця широкої колії (1524 мм). Кожний вагон незалежно від його призначення складається з п'ятьох основних частин: двох візків, рами, ударно-тягових пристроїв, кузова і гальмової системи. Візки можуть мати від

двох до чотирьох осей. Відповідно до цього вагони бувають від чотири- до восьмивісних. За устроєм кузова (тари) розрізняють вагони криті, піввагони, платформи та цистерни. Число осей і маса тари визначають вантажопідйомність вагона. Навантаження на одну вісь не повинне перевищувати 30 т (тиск на грунт 0,4 МПа).

Сипучі матеріали, які не псуються від вологи, перевозять у піввагонах: гондолах, хоперах і думпкарах.

Гондола має вертикальні стінки і горизонтальну підлогу з люками, що відчиняються. При відчиненні запірних механізмів люки утворять дві похилі площини, якими більша частина вантажу зсипається по обидва боки залізничної колії.

Хопер — саморозвантажний вагон, кузов якого виконаний у вигляді бункера з похилими торцевими стінками. Розвантажується він через люки в днищі на обидві сторони шляху.

Думпкар — вагон-самоскид. Розвантажується він шляхом перекидання кузова під кутом приблизно 45° з одночасним відкиданням борту. Перекидання кузова здійснює розвантажувальний механізм, що включає в себе чотири пневматичних циліндри, по два з кожного боку вагона.

Розвантаження думпкара можна робити на обидва боки залізничного полотна.

Такі продукти, як цемент, кальцинована сода, глинозем, перевозять упакованими в мішки в критих вагонах або в цементовозах, що являють собою вагони типу хопера з металевим критим кузовом, який має в кришці люки, що герметично закриваються,

для завантаження вагона.

Технічні характеристики деяких вагонів подані в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. **Технічні характеристики деяких вагонів для твердих матеріалів**

Тип и марка вагону	Вантажопідйомність, т	Маса тари, т	Місткість кузова, $м^3$	Довжина, м		Число осей
				Кузова	За осями автозчіпок	
Напіввагон						
ПС-63	63	22	72	12	14	4
ПС-94	94	31	106	14	16	6
ПС-125	125	42	137	19	20	8
Платформа	62	21	21		15	4
Хопер						
двовісний	25	12	26	6	7	2
чотиривісний	50	21	59	9	10	4
Думпкар						
ВС-60	60	27	32	10	12	4
ВС-105	100	49	50	14	16	6

Для транспортування рідких продуктів застосовують залізничні цистерни (рис. 6.1), що являють собою зварений циліндричний резервуар, закріплений на рамі чотиривісного вагону.

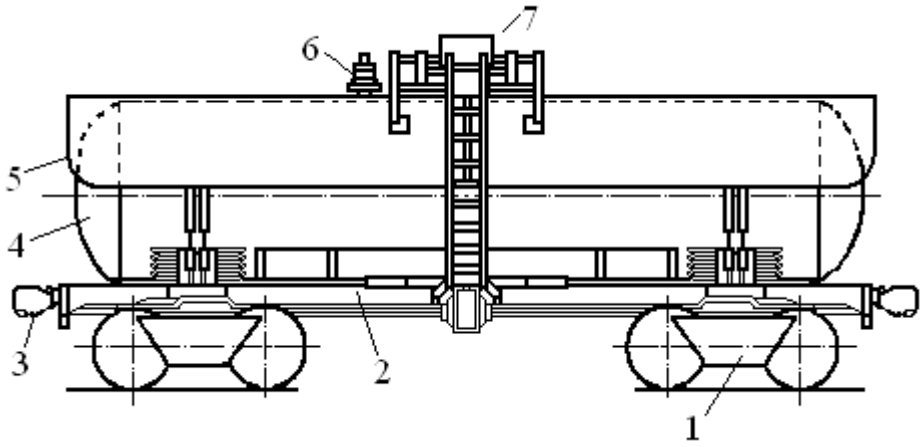


Рис. 6.1. Цистерна для перевезення скрапленого газу:1 — візок, 2 — рама, 3 — ударно-зчіпний пристрій; 4 — котел; 5 — тіньовий парасоль; 6 — запобіжний клапан; 7 — ковпак

У звичайних сталевих цистернах перевозять рідини, практично не взаємодіючі з матеріалом їх котла та замерзаючі при низьких температурах, наприклад сірчану кислоту. Рідини, що кристалізуються при порівняно високих температурах (0—10 °С) (олеум, рідкий каустик), перевозять у теплоізольованих цистернах. Продукт, який заливається в цистерну, може бути попередньо підігрітий. Для перевезення рідин, агресивних до нелегованих сталей, і високоякісних продуктів (наприклад, олеум поліпшений, їдкий натр марки РР) використовують цистерни, які футеровані відповідними матеріалами або плаковані нержавіючою сталлю.

Цистерни для перевезення рідин, які твердіють при високих температурах (розплавлена сірка, фосфор), обладнані паровими сорочками й теплоізольовані. Перед заповненням фосфором цистерни частково заливають гарячою водою. Цистерни

для перевезення рідин, які легко киплять, (аміак, хлор і ін.), для зменшення нагрівання прямими сонячними променями обладнані тіньовими парасолями.

Конструкція котла цистерни й оснащення арматурою аналогічні конструкції складських резервуарів.

Водний транспорт. Сипучі матеріали і речовини, вміщені в тару, перевозять суховантажними суднами: буксирними та самохідними баржами і катамаранами (судно з двома паралельними корпусами). Рідкі продукти перевозять танкерами.

Переключення вантажопотоку в літню пору з залізниці на річковий транспорт дозволяє прискорити доставлення вантажу. Середня швидкість просування вантажу водним транспортом, незважаючи на дещо низьку технічну швидкість, складає приблизно 500 км/добу, в той час як на залізниці вона дорівнює 330 км/добу.

Автомобільний транспорт застосовують в основному при малих вантажообігах і на короткі відстані. Його переваги в порівнянні з рейковим — велика маневреність та мобільність. В умовах сьогодняшньої господарської діяльності, коли створюються нові підприємства, освоюються нові ринки сировини та продукції, роль атомобільного транспорту зростає.

Технічні характеристики деяких автомобілів наведені в табл. 6.2.

Для перевезення штучних вантажів використовують бортові автомобілі марок КрАЗ, КамАЗ, ЗИЛ, Урал і ін.

Доставлення сировини з кар'єрів та вивіз сипучих відходів здійснюють самоскидами різноманітних марок. При транспортуванні на короткі відстані (1—3 км) великих вантажів варто використовувати великовантажні самоскиди. Наприклад, для вивозу фосфогіпсу успішно застосовують самоскиди марок БелАЗ (рис. 6.2). На невеличких кар'єрах і на відвалах використовують автосамоскиди — думпери, що відрізняються великою маневреністю і мають малий радіус повороту.

Раціональна відстань транспортування думперами 1,5—2 км. У цих умовах їхня продуктивність на 20—25 % вище, чим самоскидів.

При транспортуванні вантажів на великі відстані вигідніше використовувати швидкохідні автомобілі.

Таблиця 6.2. **Технічні характеристики деяких вантажних втомобілів**

Марка Автомобіля	Вантажопідйомність, т	Потужність, кВт	Радіус повороту, м	Число осей *	Маса з вантажем, т	Витрата палива на 100 км, л
КамАЗ						
5320	8	154	8	3(2)	15	35
5510	7	132	7	3(2)	15,1	35
КрАЗ-256	10	177	10	3(2)	21,4	65
БелАЗ						
540	27	276	8	2(1)	48	125
549	75	625	14	2(1)	123	270

* У дужках зазначене число головних осей.

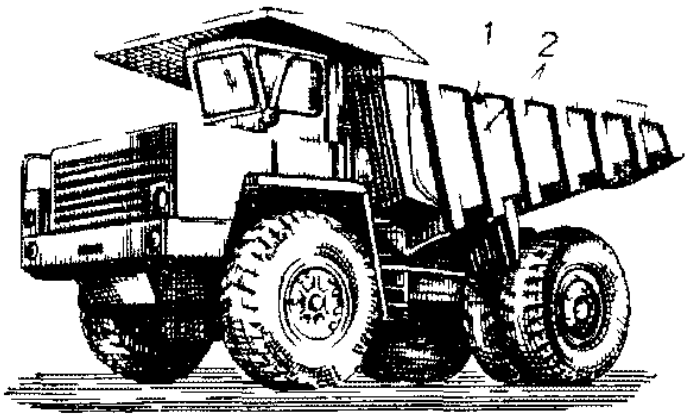


Рис. 6.2. Автосамоскид БелАЗ-548: 1 — отвір для виходу відпрацьованих газів; 2 — порожнинні ребра, що нагрівають

Значну частку часу в доставленні вантажів споживачу займають вантажно-розвантажувальні роботи, особливо штучних матеріалів. Наприклад, автомобілі простоюють під навантаженням і розвантаженням біля половини свого робочого часу. У плані прискорення доставлення вантажів широку перспективу надає використання універсальних контейнерів, придатних для перевезення будь-яким видом транспорту. В даний час будують контейнерні термінали в портах і залізничних станціях, випускають автомобілі-контейнеровози, спроможні самонавантажуватися і саморозвантажуватися (рис. 6.3).

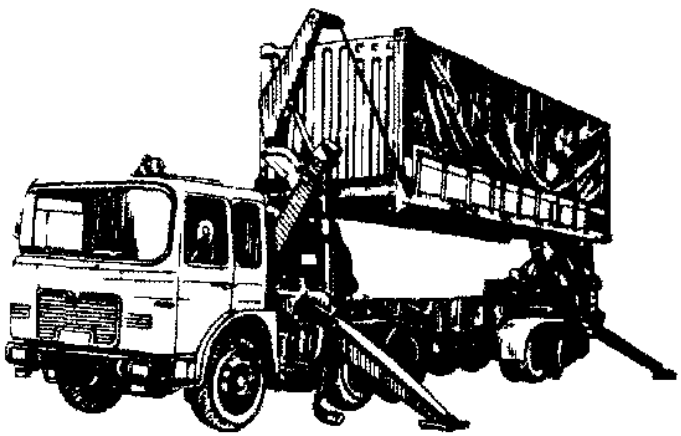


Рис. 6.3. Автомобіль-контейнеровіз

Для організації ритмічної роботи зовнішнього транспорту на заводах створюють транспортні цехи (залізничні, автотранспортні). Деякі заводи мають і власні порти. Залізничні цехи повинні забезпечувати своєчасну подачу вагонів для відвантаження продукції, їхнє чищення і поточний ремонт. До конкретних підприємств звичайно приписують вагони спеціального призначення: цементовози, цистерни для скраплених газів, олеума, фосфору, мінеральних добрив.

Трубопроводи широко використовують для зовнішньозаводского транспортування газоподібної й рідкої сировини та готової продукції, наприклад природного газу для азотно-тукових заводів (АТЗ) і водяної пари з ТЕЦ, ропи з промислів, рідкого аміаку з АТЗ. Доставка аміаку системою розгалужених трубопроводів від заводу до сільськогосподарських споживачів на 30 % дешевше, чим залізничним чи автомобільним транспортом. Перевагою трубопровідного транспорту є висока продуктивність праці. Трубопровідний транспорт використовують для видалення з підприємств твердих відходів у вигляді їхніх водяних суспензій. Гідротранспортом видаляють, наприклад, колчеданний недогарок, фосфогіпс, пісок і шлаки.

Конвеєрний транспорт застосовують для доставки сировини з кар'єрів або рудників і для видалення відходів. Наприклад,

стрічковими конвеєрами подають руду з рудників на калійні фабрики і видаляють галітові відходи. При характерних для сучасних умов великих вантажопотоках і розташуванні переробних підприємств поблизу джерел сировини (до 10—20 км) конвеєрний транспорт більш економічний, чим залізничний або автомобільний.

Прикладом конвеєрного транспорту є також повіт-ряно-канатна дорога (ПКД), використовувана, зокрема, на содо-вих підприємствах для доставки карбонатної сировини з кар'єрів. Вагонетки ПКД (рис. 6.4) одна за одною рухаються по несучому (підтримуючому) канату 6, який вільно лежить на опорах. Візки 1 приводяться в рух тяговим канатом 5 від стаціонарного двигуна. Замкнутий тяговий канат обслуговує обидва напрямки: вантажний та порожній. Для приведення його в рух використовують систему шківів. Швидкість руху вагонеток становить 1,5—3 м/с, а відстань між ними 50 — 100 м.

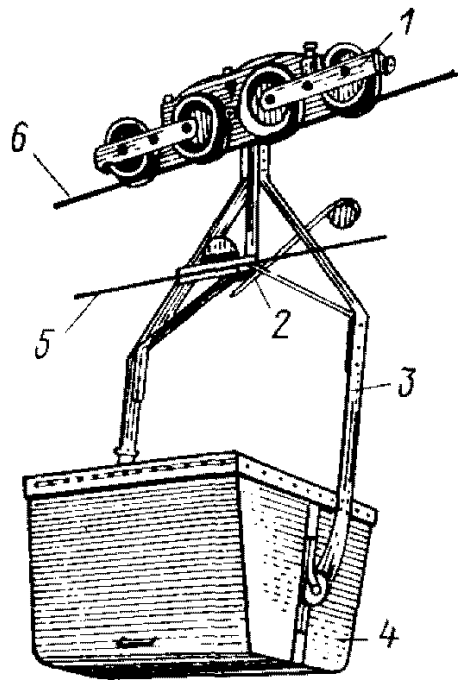


Рис. 6.4. Вагонетка підвісної канатної дороги: 1 — візок; 2 — пристосування для зчеплення з тяговим канатом; 3 — підвіски; 4 — кузов; 5 — тяговий канат; 6 — несучий канат

Опори для несучих канатів роблять із сталевого прокату або залізобетонними висотою 15—20 м. При перетинанні ПКД автодоріг і залізниць або заводської території встановлюють захисні сітки (мости), міцність яких розрахована на величину навантаження від удару вагонетки, що зірвалася.

Вагонетки з двоколісними візками мають місткість кузова від 0,25 до 1 $м^3$, вантажопідйомність до 500 кг, а з чотирьохколісними візками — від 0,32 до 3,2 $м^3$ та вантажопідйомність до 3100 кг.

На кінцевих ділянках вагонетки автоматично від'єднуються та приєднуються до тягового каната, автоматично наповнюються і розвантажуються.

ПКД можна застосовувати в таких важких умовах місцевості, при котрих неможливо використання інших видів сухопутного транспорту. Перевагами їх є також незалежність від погодних умов, простота механізмів, обслуговування і надійність роботи. Недолік — необхідність проміжного транспорту (від екскаватора).

6.2. Транспорт для переміщення твердих матеріалів

Основним видом внутрішньозаводського транспорту для переміщення твердих матеріалів (сипучих, грудкових або штучних) є конвеєри. Вони знайшли застосування в різноманітних галузях промисловості, їм відведена важлива роль у здійсненні комплексної механізації й автоматизації виробництва.

В основі класифікації конвеєрів лежить тип тягового і вантажонесучого органів. Розрізняють конвеєри з тяговим органом (стрічкові, ланцюгові, канатні та інші) і конвеєри без тягового органа (гвинтові, інерційні, вібраційні, роликові). За типом органу, який несе вантаж, конвеєри можуть бути стрічковими, пластинчастими, шкребковими, візковими.

Стрічковий конвеєр. Основними частинами стрічкового конвеєру (рис. 6.5) є: гнучка стрічка 2, яка слугує одночасно несучим і тяговим органом; привід, що складається з одного або двох барабанів 1; станина й встановлені на ній стаціонарні роликові опори 3, що підтримують стрічку по всій її довжині; натяжний пристрій 4 та двигун із редуктором. Крім того, до складу конвеєру можуть входити навантажувальні й розвантажувальні пристрої та пристрої для очищення стрічки.

Матеріали, що транспортуються, можуть бути порошкоподібними, зернистими, дрібно-, середньо- та крупношматковими, а також штучними. Розміри і маса штучних вантажів обмежуються умовами їхнього переміщення на стрічці. Продуктивність стрічкового конвеєра коливається від декількох тонн до декількох

тисяч тонн на годину. Довжина одного конвеєра може доходити до 1000 м, а конвеєрних стрічок — до 10 000 м.

У залежності від типу роликових опор стрічка може мати плоску або жолобчасту форму. Плоску форму стрічки використовують для транспортування штучних вантажів, а жолобчасту — для насипних вантажів. Стрічкові конвеєри можуть бути горизонтальними або похилими з вертикальним переміщенням. Кут нахилу конвеєру підбирають у залежності від виникнення ковзання або опадання вантажу уздовж стрічки під дією сили ваги; він залежить від коефіцієнту тертя насипного вантажу по матеріалу стрічки. Звичайно кут нахилу конвеєру приймають не більш 24° щоб уникнути втрати продуктивності конвеєра.

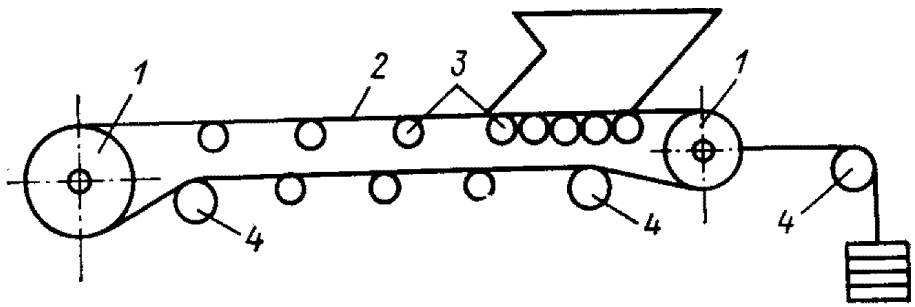


Рис. 6.5. Стрічковий конвеєр: 1 — барабан; 2 — гнучка стрічка; 3 — роликові опори; 4 — натяжний пристрій

Найбільше поширення мають стрічки з каркасом із тканинних прокладок у декілька прошарків, сполучених між

собою тонкими (0,2—0,3 мм) гумовими прошарками. Тканини можуть бути бавовняними (типу бельтінга) або синтетичними (лавсан, капрон, нейлон). Випускають стрічки шириною від 100 до 3000 мм.

Завантаження конвеєра або перевантаження матеріалу з одного конвеєра на інший здійснюють за допомогою спеціальних пристроїв, що запобігають розсипанню матеріалу на підлогу. На випадок можливого налипання на стрічку матеріалу, який транспортується, конвеєри обладнують механічними щітками або шкребками для очищення.

Основний розрахунок стрічкового конвеєра полягає у визначенні ширини стрічки та потужності електродвигуна. Ширина (B, м) стрічки:

$$B = 1{,}1\left[\sqrt{Q/(Ap\nu K)} + 0{,}05\right], \qquad (6.1)$$

де Q — продуктивність конвеєра, т/год; А — коефіцієнт, що залежить від форми стрічки й кута нахилу роліків:

	Плоска стрічка		Жолобчаста стрічка					
Кут нахилу бічних роліків α, °			20		30		36	
Кут природного укосу матеріалу β, °	15	20	15	20	15	20	15	
А	240	925	470	550	550	625	585	

ρ — насипна щільність, кг/м^3; ν — швидкість прямування стрічки, м/с. К — коефіцієнт, що залежить від кута нахилу конвеєра:

Кут нахилу конвеєра, °						
К						

Швидкість стрічки призначають у залежності від роду вантажу і ширини стрічки в межах від 0,5 до 6,3 м/с. Для вантажів, що порошать або кришяться при транспортуванні, приймають менші значення швидкостей.

Наближене значення потужності (N, кВт) електродвигуна розраховують за формулою:

$$N = K' [CL\upsilon + 0{,}00015QL \pm QH/(367\eta)], \quad (6.2)$$

де К′ — коефіцієнт, що залежить від довжини стрічки:

Довжина стрічки, м	< 16	16—30	30—45	> 45
К'	1,25	1,10	1,05	1,00

С — коефіцієнт, який приймають у залежності від ширини стрічки:

Ширина стрічки, м	0,65	0,8	1,0	1,2
С	0,023	0,028	0,038	0,046

L — довжина конвеєра, м; Н — висота підйому або опускання вантажу, м; η — к.к.д. приводу.

Пластинчастий конвеєр (рис. 6.6) за устроєм аналогічний стрічковому, тільки замість гнучких стрічок використовують металеві пластини 1, закріплені на роликових ланцюгах 3. При переміщенні сипучих вантажів пластини обладнують бортами. Застосовують конвеєри для переміщення крупношматкових, гарячих (палене вапно) матеріалів на відстань до 150 м під кутом до 45—60° при швидкості прямування стрічки 0,05—1,25 м/с. Іноді при транспортуванні вантажів на конвеєрі одночасно здійснюють сушіння, випал матеріалів і т.д.

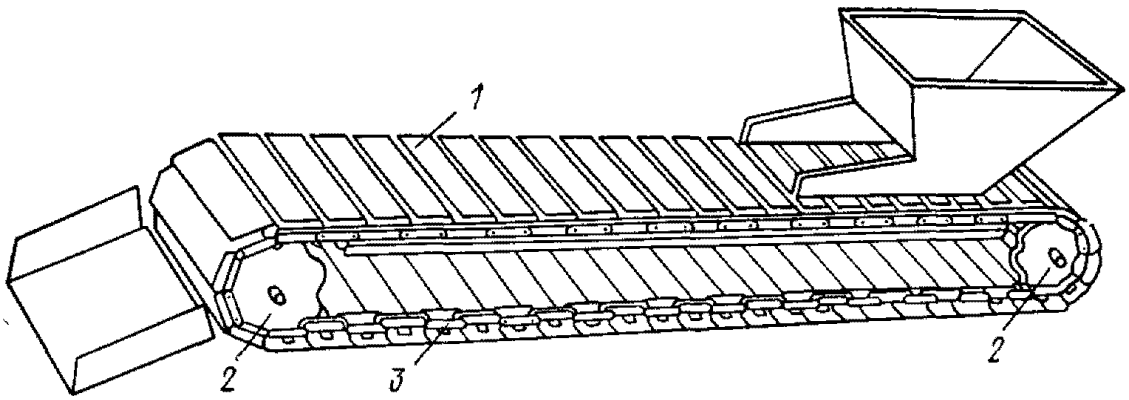


Рис. 6.6. Пластинчастий конвеєр: 1 — металева пластина; 2 — барабани; 3 — роликові ланцюги

Шкребковий конвеєр складається з жолоба (дерев'яного, залізного або чавунного), у котрому безупинно рухається тяговий елемент 2 із прикріпленими до нього шкребками 3 (рис. 6.7). Останні при русі ланцюга захоплюють потрапляючий на однім кінці жолоба матеріал і переміщають його із собою, поки він не вивантажиться на іншому кінці жолоба.

Матеріал може подаватися і вивантажуватися в будь-якому місці жолоба, у залежності від наявності в ньому отворів.

За допомогою одного шкребка зі швидкістю 0,16—0,40 м/с переміщають за 1 год 8—15 т матеріалів на відстань до 100 м. Продуктивність (Q, т/год) конвеєра визначають за рівнянням:

$$Q = 3{,}6V\rho\nu/\alpha, \qquad (6.3)$$

де V — об'єм матеріалу, що забирається одним шкребком, $м^3$; ν — швидкість переміщення тягового елементу, м/с; α — відс-тань між шкребками, м (0,4—0,6 м).

Шкребкові конвеєри знаходять застосування для транспортування колчедану, колчеданного недогарку й пилу, суперфосфату, амофосу, хлориду калію, вапна. Їх використовують для переміщення й одночасного охолодження гарячих вантажів.

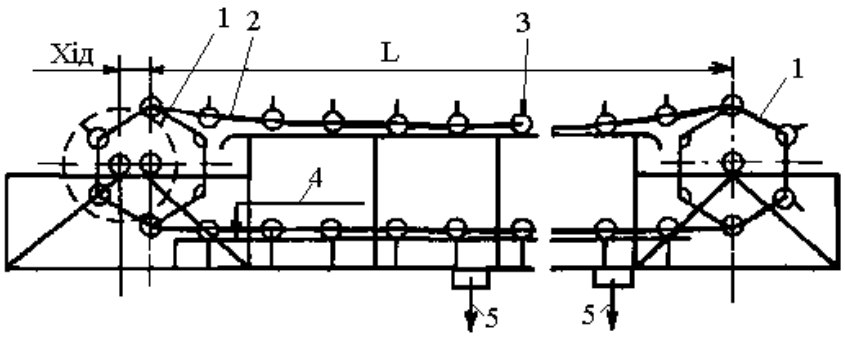


Рис. 6.7. Шкребковий конвеєр: 1— барабан; 2 — тяговий елемент; 3 — шкребки; 4 — завантаження; 5 — вивантаження

До переваг шкребкових конвеєрів відносять: простоту конструкції; можливість завантаження і розвантаження матеріалу в будь-якій точці; герметичність; підйом матеріалу по вертикалі; здійснення переміщення матеріалу при одночасному його сушінні, охолодженні, промиванні.

Недоліками є: підвищена витрата електроенергії; підвищена зношуваність ланцюга, жолоба, шкребків; здрібнювання матеріалів що транспортуються; мала довжина переміщення (до 60 — 100 м).

Ковшовий конвеєр (елеватор) (рис. 6.8) служить для транспортування насипних вантажів вертикально або в похилому напрямку. Відповідно до цього конвеєри поділяють на вертикальні й похилі. Кут нахилу конвеєра звичайно більше 60°. Ковшові елеватори застосовують у виробництвах мінеральних добрив і солей, сірчаного колчеданну, фосфатної сировини й ін.

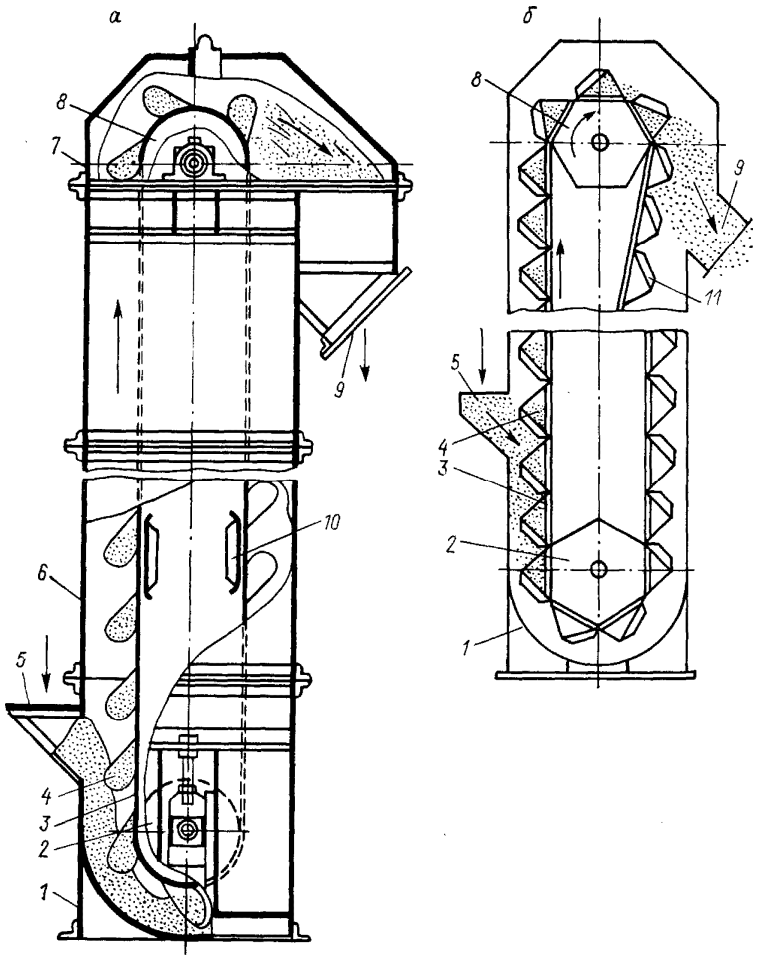


Рис. 6.8. Ковшові елеватори: *а* — з розімкнутими ковшами; *б* — із зімкнутими ковшами; 1— нижня секція кожуха; 2 — натяжний

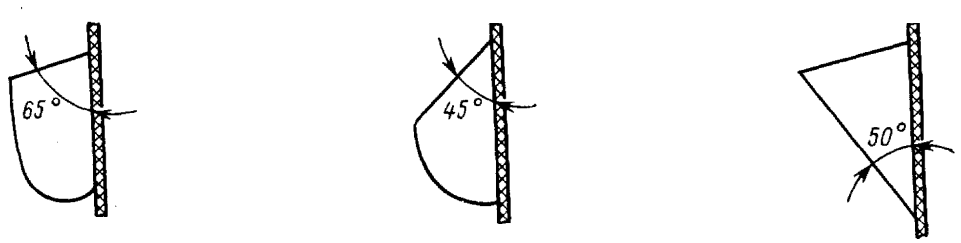
барабан; 3 — тяговий елемент; 4, 11 — ківш; 5 — завантажувальний патрубок; 6 — середня секція кожуха; 7 — верхня секція кожуха; 8 — привідний барабан; 9 — розвантажувальний патрубок; 10 — направляючий пристрій

Ковшовий елеватор складається з замкнутого тягового елемента 3 із жорстко прикріпленими до нього ковшами 4. Тяговий елемент обгинає верхній привідний 8 та нижній натяжний 2 барабани.

У похилих елеваторів робоча гілка стрічки рухається по опорних роликах. За типом тягового елементу елеватори бувають стрічкові й ланцюгові.

За розташуванням інколи розрізняють елеватори з розімкнутими ковшами (застосовують для навантаження легко сипких матеріалів), і з зімкнутими ковшами (для погано сипучих матеріалів: вологих, пластівчастих).

За способом розвантаження ковшів елеватори поділяють на швидкохідні (швидкість руху 1—4 м/с) і тихохідні (швидкість 0,6—0,8 м/с). У швидкохідних розвантаження відбувається під дією відцентрової сили. Широке застосування знайшли три типи ковшів (рис.6.9):



а *б* *в*

Рис. 6.9. Ковші: *а* — глибокий: *б* — мілкий; *в* — із бортовими направляючими і гострокутним днищем

1. Глибокі ковші (рис. 6.9, *а)* з заокругленими днищами, застосовувані для легкосипких матеріалів;

2. Мілкі ковші (рис. 6.9, *б)* з заокругленими днищами для транспортування поганосипких матеріалів;

3. Ковші з бортовими направляючими і гострокутним днищем (рис. 6.9, *в*) для транспортування легкосипких матеріалів.

Перевагами ковшових елеваторів є: малі габарити в поперечному перетині; можливість подачі вантажів на значну висоту (до 60 м); широкий інтервал продуктивності (5—600 $м^3$/год).

До недоліків відносять: чутливість до перевантаження; необхідність рівномірної подачі вантажів.

Гвинтовий конвеєр (шнек). Основними вузлами шнека (рис. 6.10) є жолоб 1 із напівциліндричним днищем, гвинт 3 і привід 5, 7.

Цілком закрита конструкція шнека необхідна для переміщення гарячих і гостропахучих вантажів, пилу. Шнек має такі переваги: простота устрою й обслуговування; невеличкі габарити; можливість проміжного розвантаження. До недоліків відносять: високі витрати електроенергії; здрібнювання матеріалу під час транспортування; підвищене зношення гвинтів і жолоба; чутливість до перевантажень; високий рівень шуму.

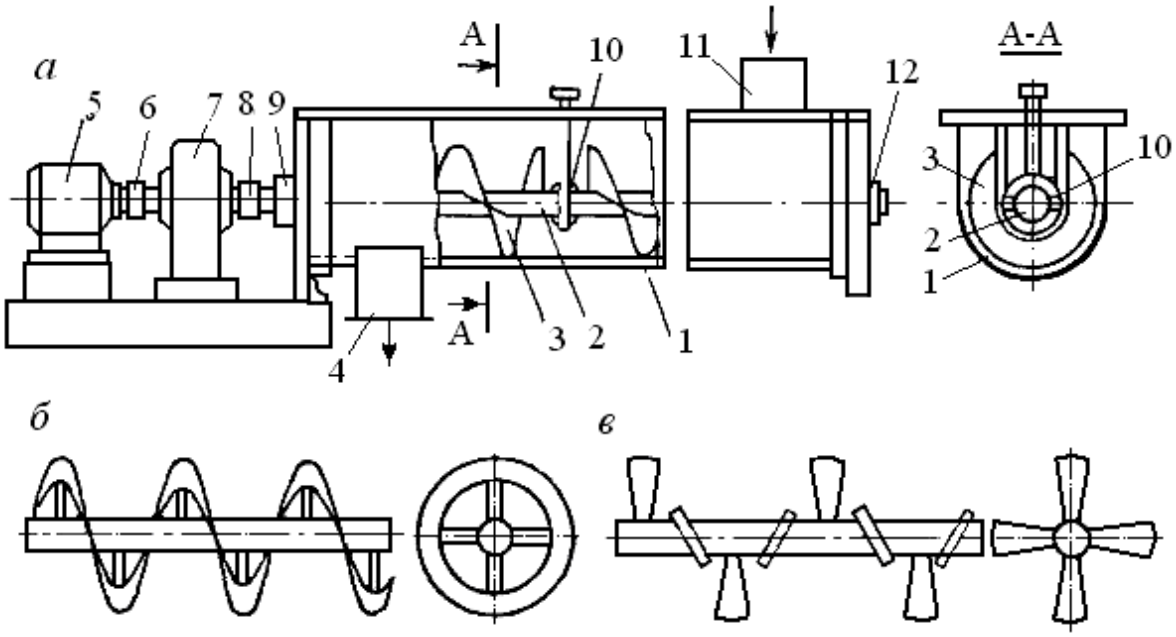


Рис. 6.10. Гвинтовий конвеєр (шнек) із суцільним (*а*), стрічковим (*б*) і лопатевим гвинтами (*в*): 1 — жолоб; 2 — вал; 3 — гвинт; 4 — розвантажувальний штуцер; 5 — електродвигун; 6,8 — муфти; 7 — редуктор; 9, 10, 12 — підшипники; 11— завантажувальний штуцер.

Продуктивність шнеків не перевищує 100 $м^3$/год, а відстань, на який можна переміщати вантаж, — 40 м в одній установці. При необхідності передачі на великі відстані транспортну стрічку складають із декількох шнеків. У вертикальному напрямку шнеки можуть подавати матеріали на висоту до 15 м. Продуктивність (Q, кг/год) шнека розраховують за формулою:

$$Q = 47D^2 a_в n \Psi \rho_н c, \qquad (6.6)$$

де D — діаметр гвинта, м; *а* — крок гвинта (1,0 — 0,3D), м; n — частота обертання гвинта (6—300 $хв^{-1}$); Ψ — коефіцієнт заповнення (0,4—0,125); с — коефіцієнт, що враховує кут нахилу

шнека:

Кут нахилу шнека, градуси	0	5	10	15	20
c	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Частота обертання n ($хв^{-1}$) гвинта залежить від виду вантажу, що переміщається, і визначається за формулою:

$$n = b/\sqrt{D}\ , \qquad (6.7)$$

де b = 30—60 (вибирають із даних табл. 6.3). Потужність (N, Вт) приводу гвинтового конвеєра:

$$N = 9{,}8Q\,(Lf + H)\beta_м /\eta.$$

Де L — горизонтальна проекція шляху матеріалу, що переміщається, м; f — коефіцієнт опору (див. табл. 6.3).

Таблиця 6.3 . **Значення коефіцієнтів Ψ, b, f**

Група вантажів	Приклади вантажів	Коефіцієнти		
		Ψ	b	f
Легкі і неабразивні	Дерев'яні опилки	0,4	65	1,2
Легкі і малоабразивні	Крейда, сода	0,32	50	1,6
Важкі і малоабразивні	Гіпс, суперфосфат	0,25	45	2,5
Важкі і абразивні	Апатитовий концентрат, колчеданний огарок	0,125	30	4,0

Діаметром гвинта D попередньо задаються, а потім методом постійного наближення знаходять за формулою (6.7) його остаточне значення.

Шнеки виготовляють із діаметром гвинтів у межах від 0,1 до 0,8 м.

Пневматичний транспорт — сукупність устаткування для переміщення сипучих, штучних і пластично-в'язких матеріалів за допомогою енергії стиснутого повітря.

За способом створення різниці тисків у трубопроводі пневмотранспортні пристрої (рис. 6.11) поділяють на всмоктувальні, нагнітальні, всмоктувально-нагнітальні. Всмоктувальний пневматичний транспорт застосовують для переміщення матеріалу на відстань до 100 м із різних місць до однієї точки розвантаження при розрідженнях не більш 0,01 МПа. Нагнітальну пневматичну установку використовують для транспортування матеріалу з одного місця в різноманітних напрямках на відстань до 1800 м при перепаді тиску повітря 0,5—1,3 МПа. Всмоктувально-нагнітальна установка служить для переміщення сухих порошкоподібних і дрібнозернистих матеріалів на великі відстані.

У систему пневмотранспорту входить розвантажувальна станція, що включає бункер (для збору матеріалу), рукавний фільтр (для очищення повітря, що викидається від пилу), вентилятор (для відсмоктування очищеного повітря). Вловлений пил подають зворотно в бункер. Для переміщення значної маси матеріалу (120—250 кг) 1 кг повітря, на висоту до 25 м викорис-

товують пневматичні підіймачі при швидкостях повітря менше 10 м/с і надлишковому тиску 0,05—0,15 МПа.

Розрахунок пневмотранспорту полягає у визначенні за заданою продуктивністю діаметру трубопроводу d, витрати (швидкості) повітря w і необхідного перепаду тиску Δр.

Внутрішній діаметр (м) трубопроводу визначають за формулою:

$$d = \sqrt{\omega_в /(0{,}785 v_в)},$$

де $\omega_в$— витрати повітря в транспортному трубопроводі при стандартних умовах (Р = 0,098 МПа, $\rho_в$ = 1,2 кг/м^3), м^3/с

$$\omega_в = Q/(x\rho_в),$$

де Q — задана середня продуктивність за матеріалом, що транс-портується, кг/с; х — концентрація пилу, кг/кг; $\rho_в$ — густина повітря, кг/м^3; $v_в$ — лінійна швидкість повітря, м/с.

Мінімальна швидкість (м/год) протікання повітря:

$$\omega_{мін} = 465\sqrt{d \cdot \rho_ч / \rho_в}, \qquad (6.9)$$

де d — діаметр часток матеріалу, м; $\rho_ч$ — густина матеріалу, кг/м^3.

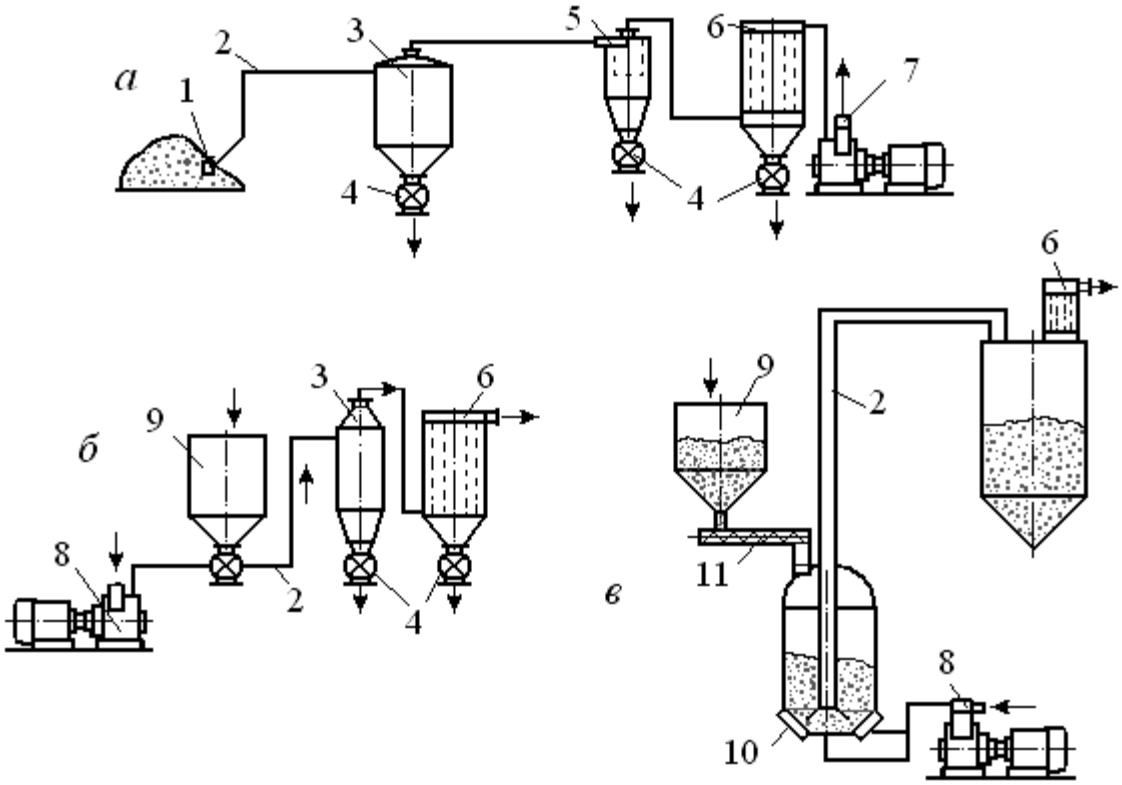


Рис. 6.11. Пневмотранспортні установки: а — всмоктувальні; *б* — нагнітальні; *в* — всмоктувально—нагнітальні; 1— завантажувальне сопло, 2 — трубопровід; 3 — розвантажувальний пристрій; 4 — затвор; 5 — циклон; 6 — рукавний фільтр; 7 — вакуум-насос; 8 — компресор; 9, 13 — бункери; 10 — аераційний пристрій; 11 — живильник

Повний перепад тиску (Δp, Па), що необхідний для підняття матеріалу:

$$\Delta p = (1+\chi tg\alpha)[p_ч\ \omega^2/(2g)](1+\Sigma\xi)+\rho_в(1+\chi)\ , \quad (6.10)$$

де $\chi = G_м/G_в$ — коефіцієнт суміші; $G_м$ — маса твердого матеріалу, що транспортується, кг; $G_в$ — маса повітря, що витрачаєть-ся на транспортування, кг; $tg\ \alpha = (0{,}32—0{,}40)$; $\xi=$

0,76 (1 — 10,64f); f — площа поперечного перетину труби, $м^2$.

Переваги пневмотранспорту: герметичність системи; відсутність утрат вантажів, що переміщаються; здійснення переміщення вантажів складними трасами; зручність сполучення горизонтальних, вертикальних і похилих ділянок; можливість шляхом застосування розгалужених трубопроводів забезпечувати переміщення вантажів із декількох місць в одне або з одного місця в декілька; можливість при транспортуванні одночасного сушіння, нагрівання, охолодження.

До недоліків відносять: високі питомі витрати електро-енергії; інтенсивне зношування трубопроводу; здрібню-вання матеріалу; неможливість переміщати сирі матеріали. Крім того, при переміщенні тонкодисперсних матеріалів (розміри часток 10—20 мкм) ускладнюється їхнє відділення в кінцевому пункті від повітря, а при переміщенні порошків різного фракційного складу відбувається розшарування матеріалу.

Гідравлічний конвеєр використовують у тих випадках, коли властивості матеріалу це дозволяють. У цих установках матеріал (наприклад, колчеданний недогарок, фосфогіпс) вводять у струмінь води, він переміщується з нею до місця призначення, де відокремлюється від води в гідроциклонах і відстійниках. Довжина гідротранспортних ліній доходить до десятків кілометрів.

У низьконапірних установках матеріал змивається водою під низьким тиском (до 0,5 МПа), і суміш самопливом рухається жолобом або канавою. У високонапірних установках воду по-дають під високим тиском, і суміш переміщується трубами під

надлишковим тиском на відстань до 1 км. У змішаних установках матеріал переміщується в межах цеху відкритими каналами, із яких подається потім у високонапірну установку для подальшого транспортування.

6.3. Транспорт для переміщення рідин

Пристрої для переміщення рідин відносять до внутрішньозаводського транспорту.

Переміщення рідин може здійснюватися замкнутими каналами (трубопроводи й ін.) під дією різниці тисків на двох ділянках потоку (напірне переміщення рідини) або під дією сили ваги рідини, що має вільну поверхню, завдяки гідравлічному ухилу (безнапірне переміщення рідини). Напірне переміщення рідин провадиться об'ємними, лопатевими, а також струминними насосами.

У хімічній промисловості найбільше поширення одержали поршневі, плунжерні насоси (для роботи з пінливими й іншими рідинами) і відцентрові насоси (для роботи з агресивними, токсичними, вибухово- і пожежозагрозливими середовищами).

Основними параметрами насоса будь-якого типу є подача Q (м/с), напір H (м) і потужність N (Вт).

Поршневий насос (рис. 6.12) — пристрій, у якому робочий орган (поршень) здійснює в циліндрі зворотно-поступальні рухи, повідомляючи рідині, яка перекачується, надлишковий тиск. У тому випадку, коли робочий орган виконаний у

вигляді подовженого поршня (плунжера) поршневий насос називають плунжерним.

Особливістю поршневих насосів є нерівномірність подачі, в зв'язку з чим важливе значення набуває поняття *ступінь нерівномірності подачі.* Цей параметр являє собою відношення максимальної (миттєвої) подачі даного насоса до гаданої середньої подачі (рис. 6.13):

$$m = Q_{макс}/Q_{ср}\,. \qquad (6.11)$$

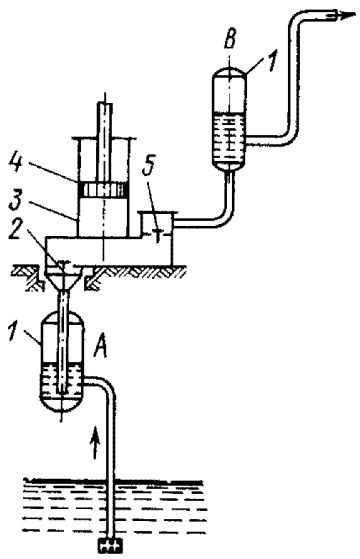


Рис. 6.12. Поршневий насос одинарної дії з повітряними ковпаками на всмоктувальній (А) та нагнітальній (В) лініях: 1— повітряні ковпаки; 2 — всмоктувальний клапан; 3 — циліндр; 4 — поршень; 5 —нагнітальний клапан.

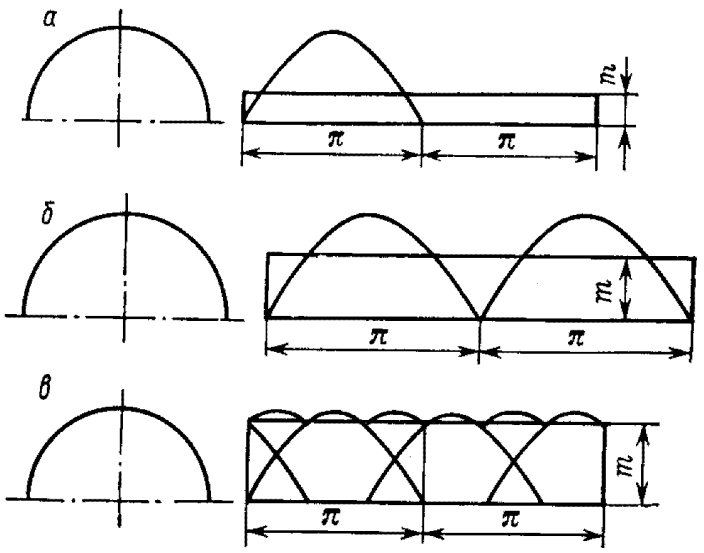


Рис. 6.13. Діаграма подачі поршневих насосів одинарної (*а*), подвійної (*б*) і потрійної (*в*) дії

Для насоса одинарної дії m = 3,14, подвійної дії m = 1,5, потрійної m = 1,05. Насос подвійної дії має більш рівномірну подачу, тому що він за один подвійний хід робить дві подачі. З подальшим збільшенням числа поршнів ступінь нерівномірності подачі зменшується дуже повільно.

Нерівномірність подачі і пов'язана з цим нерівномірність руху рідини у всмоктувальному і нагнітальному (напірному) трубопроводах може бути частково усунута встановленням повітряних ковпаків (див. рис. 6.12). Стиснення повітря в ковпаку при подачі і розширення при всмоктуванні зменшує нерівномірність руху рідини в напірному трубопроводі. Чим більше об'єм повітряного ковпака, тим менше ступінь нерівномірності подачі. На практиці звичайно обмежуються такими розмірами ковпаків, щоб коливання тиску в напірному трубопроводі не

перевищувало d = 3 %.

Висоту всмоктування поршневих насосів визначають за формулою:

$$h_{вс} = \frac{P_a}{\rho_ж g} - \frac{P_ж}{\rho_ж g} - h_1 - h_2 \ , \qquad (6.12)$$

де P_a — атмосферний тиск, Па; $P_ж$ — тиск насичених парів рідини, Па; $\rho_ж$ — густина рідини, кг/м^3; h_1 і h_2 — втрата напору в насосі та у всмоктувальному трубопроводі, м.

Поршневі насоси з дисковим поршнем застосовують при перекачуванні малов'язких рідин, а плунжерні (рис. 6.14) — для перекачування в'язких рідин та суспензій і для створення високих тисків.

Горизонтальні плунжерні насоси випускають із подачею від 180 до 1800 л/хв (0,003 до 0,03 м^3/с), вертикальні — від 2950 до 38 600 л/хв (0,05 до 0,64 м^3/с).

Випускають хімічні поршневі насоси типів: ХПНП — хімічний поршневий насос паровий; ХТр — хімічний трьохциліндровий із регульованою подачею; ХТ — хімічний трьохциліндровий; РК — регульований кислотний; РКС — регульований для соляної і сірчаної кислот; РКХ — регульований для суспензії хлориду алюмінію.

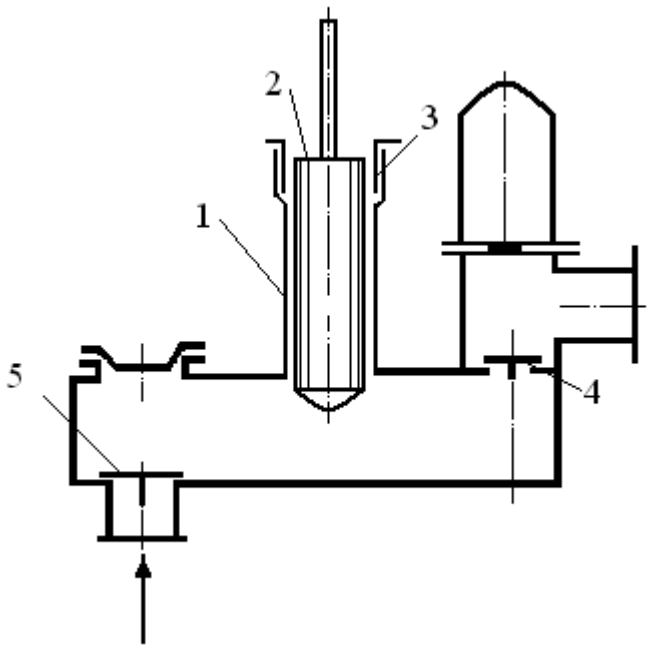


Рис. 6.14. Плунжерний насос: 1— циліндр; *2* — плунжер; 3 — сальник; 4 — нагнітальний клапан; 5 — всмоктувальний клапан

Маркірування насоса розшифровується в такий спосіб. Наприклад, РКС 1,5/25 означає: Р — регульований; К — кислотний; С — соляна кислота; 1,5 — подача, $м^3$/год; 25 — тиск нагнітання, $кГ/см^2$.

Технічні характеристики деяких плунжерних насосів наведені в табл. 6.4. Подачу поршневого насоса регулюють за допомогою вентиля або засувки на перепускній лінії, яка з'єднує всмоктувальний та нагнітальний трубопроводи.

Таблиця 6.4. **Технічні характеристики плунжерних насосів типу ХТр**

Марка насоса	Подача, $м^3$/год	Тиск нагнітання,	Число подвійних ходів за 1 хв.	Хід поршня,	Діаметр поршня,

ХТр 1,5/200	0,75—1,5	22	200	60	32
ХТр 3/20	1—3	2	300	45	45
ХТр 8/110	4—8	11	182	120	55

Пуск насоса здійснюють відкриттям засувки на всмоктувальній, потім на нагнітальній і на перепускній лініях (якщо робота насоса регулюється перепускною засувкою). Включають електродвигун, і коли встановлюється необхідна частота обертання двигуна, повільно закривають перепускну засувку

Перед зупинкою насоса відкривають перепускну засувку, закривають засувку на всмоктувальній лінії і виключають електродвигун, після чого закривають засувку на нагнітальній лінії.

Поршневі насоси можна вибрати за каталогом, де зазначені: марка насоса, подача, тиск нагнітання, число подвійних ходів поршня в хвилину, потужність двигуна, габаритні розміри, маса, виготовлювач, характер рідини, що перекачується. Наприклад, насос марки Т 25/340 призначений для перекачування аміачної води, має подачу 25 $м^3$/год, тиск нагнітання 34 МПа, потужність електродвигуна 440 кВт.

Достоїнства поршневих насосів: високий к.к.д. (до 85 %); можливість досягнення високих напорів при будь-яких подачах; гарна всмоктувальна здатність.

Недоліки: тихохідність, громіздкість та велика маса (через наявність редуктора); складність виготовлення та висока вартість насоса і його експлуатації; нерівномірна подача; відсутність регулювання подачі.

Ці недоліки роблять поршневі насоси менше ефективними, чим нижче розглянуті відцентрові.

Відцентровий насос — пристрій, у якому переміщення рідини відбувається під дією відцентрових сил, які виникають при обертанні робочого колеса.

Відцентрові насоси, використовувані в технології неорганічних речовин, бувають одно- і багатоступінчасті. Перші призначені для створення напорів до 50 м, другі — для створення високих напорів. У багатоступінчастих насосів робочі колеса з'єднані послідовно і облаштовані направляючими апаратами та переливними каналами, слугуючими для спрямовування рідини з одного колеса в інше. Всі робочі колеса змонтовані на одному валу, мають одну всмоктувальну й одну нагнітальну лінію. Для подачі великого об'єму рідини застосовують насоси двостороннього всмоктування. Чим більше число, діаметр і частота обертання колеса, тим більше напір.

Існують такі співвідношення між подачею Q, напором H та радіусом r колеса:

$$Q_l/Q_2 = (r_1/r_2)^3; \qquad H_1/H_2 = (r_1/r_2)^2. \tag{6.13}$$

Отже, збільшити подачу насоса або напір можна, збільшивши частоту обертання або радіус колеса.

Потужність (Вт), споживану насосом, визначають за формулою:

$$N = QH\rho_{ж} (102\eta), \qquad (6.14)$$

де η — к. к. д. насоса (від 0,3 до 0,8).

Відцентрові насоси, на відміну від поршневих, не мають здатності засмоктувати рідину на початку роботи, через що перед пуском насос та всмоктувальний трубопровід повинні бути залиті рідиною.

Висоту всмоктування відцентрових насосів визначають за формулою для поршневих насосів [див. рівняння (6.12)]. Відмінність складається в тому, що для створення нормальних умов роботи відцентрового насоса необхідно забезпечити на всмоктуванні так називаний кавітаційний запас, тобто мінімально допустиме перевищення атмосферного тиску над тиском насичених парів рідини, для запобігання можливого закипання рідини в насосі.

При перекачуванні гарячих рідин щоб уникнути кавітації варто створювати підпір, тобто насос повинний бути нижче рівня рідини, яка знаходиться в резервуарі. Для досягнення кращої всмоктувальної здатності швидкість рідини на вході в насос повинна дорівнювати 1 м/с (і не більш 2 м/с), а опір всмоктувального трубопроводу — мінімальним. Висота всмоктування відцентрових насосів не перевищує 5 м.

На відміну від поршневих насосів, що мають при постійній частоті обертання двигуна постійну середню подачу, відцентрові насоси мають різноманітну подачу (і різноманітний напір) у

залежності від опору лінії. Тому кожний насос постачається заводом-виготовлювачем робочою характеристикою, одержуваною дослідним шляхом.

При доборі насосу й частоти обертання робочого колеса необхідно враховувати характеристику лінії, тобто трубопроводів та приєднаних до них апаратів.

Вмикання насоса в роботу здійснюють при цілком закритій засувці на нагнітальному трубопроводі, тому що в цьому випадку насос споживає мінімальну потужність. Засувка (вентиль) на всмоктувальному трубопроводі перед пуском повинна бути відкрита цілком, щоб попередити кавітацію.

Регулювання подачі насоса здійснюють вентилем, розташованим на нагнітальній лінії. Цей метод є найпростішим і найзручнішим, хоча й призводить до зниження η. Подібне регулювання на всмоктувальній лінії не допускається через можливість виникнення кавітації.

При необхідності підвищити подачу насоси включають паралельно, для збільшення напору — послідовно.

При перекачуванні високов'язких рідин унаслідок збільшення опору на тертя подача, напір і к.к.д. насоса зменшуються. Тому для цих випадків рекомендується підбирати насоси з високими значеннями частоти обертання робочого колеса. Іноді буває економічно вигідно підігрівати рідину перед перекачуванням, тому що при цьому зменшуються її в'язкість і густина.

Промисловість випускає відцентрові насоси типу Х с

широким інтервалом подачі (від 2,2 до 700 $м^3$/год при напорі стовпа рідини 10—30 м) для перекачування рідин з вмістом часток до 0,2 % (за масою). Вони вкомплектовані двигунами з частотою обертання 960, 1450 і 2900 об/хв і потужністю від 2,8 до 200 кВт. Насоси типу Х маркірують у такий спосіб. Наприклад, 8Х-12К-1 означає: перша цифра — діаметр усмоктувального патрубка в дюймах (25,4 мм); буква Х — хімічний; наступна цифра — коефіцієнт швидкохідності, зменшений у 10 разів; буква К — умовна марка матеріалу (А — вуглецева сталь, Д — хромиста сталь, К — хромонікелева сталь, Е — хромонікель-молібденова сталь, И — хромонікельмолібденова сталь, Л — феросилід); остання цифра — вид ущільнення.

Технічні характеристики деяких із них наведені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5. **Технічні характеристики відцентрових насосів**

Марка насоса	Подача, $м^3$/год	Напір, м	Кавітаційний запас, м	Частота обертання, $хв^{-1}$	Потужність, кВт
1,5Х-6(К,Е,И)-5(1)	8	18	4	2900	1,4
2Х-9(К,Е,И)-5(1)	20	18	4,5	2900	2,2
3Х-9(А,К,Е,И)-5	45	31	5	2900	7,5
4Х-12(К,Е,И)-5	90	33	6	2900	13
6Х19(К,И,Е)-1	160	29	5	1450	20

Насоси можна встановлювати в приміщеннях та на відкритих майданчиках.

Відцентрові гумовані насоси випускають таких марок: 1Х-2Р-Ц2, 8Х-12Р-Ц2, 4АХ-5Р-1, 4ПХ-4Р-1.

Принцип маркірування той же, що й у насосів типу Х. Буква Р означає, що насос гумований, тобто проточна частина покрита гумою; букви АХ — хімічний для абразивних суспензій (вміст часток – 20 % мас.); ПХ — пульповий для неабразивних суспензій (40 % мас.).

Допустима температура рідини, яка перекачується, знаходиться в залежності від марки гуми, застосовуваної для гумування. Звичайний температурний інтервал від — 30 до 80 °С.

Занурені відцентрові насоси типу ХП для забирання й перекачування рідини з резервуарів мають подачу від 2 до 600 $м^3$/год і напір до 54 м. У сірчанокислотних виробництвах використовують насоси типу ХПА (Q = 10—700 $м^3$/год; Н = 15—50 м). Для перекачування фосфорнокислотної суспензії, сульфату кальцію, жовтого фосфору, різноманітних кислот, розчинів із великим числом твердих часток знайшли застосування насоси ПХП. Технічні характеристики деяких із них наведені в табл. 6.6.

Переваги відцентрових насосів: компактність; мала маса; рівномірність подачі і легкість її регулювання, простота експлуатації. Недоліком є необхідність заливання рідини перед запуском.

Таблиця 6.6. **Технічні характеристики деяких занурених одно-ступінчатих насосів**

Марка насоса	Подача, $м^3$/год	Напір, м	Кавітаційний запас, м	Потужність на валу, кВт	Частота обертання, $хв^{-1}$
1ХП-3(А,К,Е)-1	2	15	3,5	1,5	2900
3ХП-6(А,К,Е,)-6	45	54	5,0	28	2900

ЗПХП-5(А,К)-7	45	31	3,0	22	1450
9ПХП-9(А,К)-7	600	20	6,0	160	735

Добір відцентрових насосів. Відцентрові насоси підбирають у залежності від їхнього призначення й умов роботи. З необхідних даних звичайно відомий обсяг рідини, яка транспортується, в умовах виробництва, і напір Н. Якщо напір невідомий, його можна визначити за формулою:

$$H = Z_1 + Z_2 + [(P_2 - P_1)/(\rho_{жg})] + h_\omega^{'} + h_\omega^{''}, \qquad (6.15)$$

де Z_1 — геометрична висота всмоктування; Z_2 — геометрична висота нагнітання; P_1 — тиск на поверхню рідини в резервуарах на лінії всмоктування; P_2 — тиск на поверхню рідини в резервуарах на лінії нагнітання; $h_\omega^{'}$ — гідравлічний опір трубоп-роводів на лінії всмоктування; $h_\omega^{''}$ — гідравлічний опір трубоп-роводів на лінії нагнітання.

Для добору насоса необхідно знати подачу, характер взаємних змін подачі Q і напору Н в процесі експлуатації. За своїми конструктивними особливостями відцентрові насоси можуть мати Q — Н — характеристики різноманітної кривизни: круті, середньої крутості та пологі (рис. 6.15).

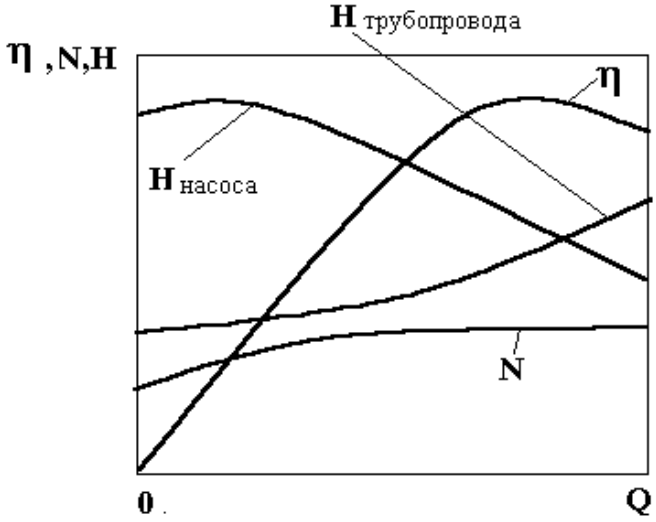


Рис. 6.15. Зміна характеристик відцентрових насосів у залежності від подачі

Якщо припускають, що при істотній зміні подачі напір повинний змінюватися незначно, то вибирають насос, що має пологу характеристику. Наприклад, живильні насоси в котельнях повинні мати пологу характеристику Q — H, тому що обсяг подаваної для живлення котлів води може значно змінюватися, але тиск у котлах практично постійний.

Для подачі суспензії на фільтрувальні апарати (наприклад, фільтр-преси) варто вибирати насоси з крутою характеристикою, оскільки в процесі фільтрування різко змінюється опір прошарку осаду. При правильному виборі таких насосів їхня подача буде незначно змінюватися навіть за істотного збільшення гідравлічного опору фільтрувальних апаратів.

Якщо в процесі експлуатації змінюються і подача насоса і його напір, то застосовують насоси з Q — H-характеристикою середньої крутості.

Таким чином, для добору відцентрового насоса в загальному випадку необхідно і достатньо знати його продуктивність, напір і призначення. Потім за каталогами заводів, що виготовляють насоси, вибирають насос, який задовольняє поставленим вимогам.

6.4. Транспорт для переміщення і стиснення газів

Для переміщення і стиснення газів використовують вентилятори, газодувки, компресори. Їх класифікують за принципом дії (поршневі, відцентрові, ротаційні, струминні) і в залежності від відношення тиску на виході P_2 до тиску на вході P_1 (P_2/P_1 = 3—1000 — компресори, P_2/P_1 = 1,06—4,0 — газодувки, P_2/P_1 = 1—1,1 — вентилятори). Для створення розрідження в системі застосовують вакуум-насоси.

6.4.1 Вентилятори

Вентилятор (рис. 6.16) — пристрій, що створює надлишковий тиск повітря або іншого газу до 15 кПа для їхнього переміщення. За конструкцією вентилятори ділять на відцентрові й осьові. Перші застосовують для подачі повітря або газу при порівняно великому напорі, другі — коли необхідно переміщати великі обсяги повітря з малим напором.

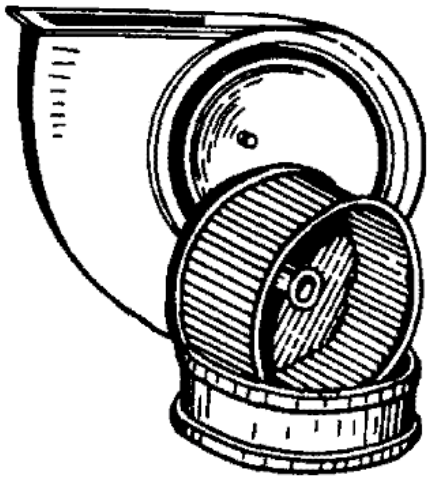


Рис. 6.16. Відцентровий вентилятор у розібраному вигляді

Технічні характеристики деяких вентиляторів наведені в табл. 6.7.

Таблиця 6.7. **Технічні характеристики деяких вентиляторів**

Тип и номер	Максимальна подача, $м^3/с$	Тиск нагнітання, Па	Частота обертання вала, $с^{-1}$	Потужність, кВт
Осьові вентилятори				
06-320 № 4	0,69	180	47.7	1.0
06-320 № 8	7,44	160	24,0	4,5
06-420 № 12	16,11	200	16,3	7,0
Відцентрові вентилятори				
Т4-70 № 3	0,55	800	40,0	0,55
Д4-70 № 6	18,06	900	7,9	20,3
Ц9-57 № 8	8,33	2000	16,7	26.0
ДП-7-40 № 5	1,64	3400	43,3	10,0
ЗД № 5	0,50	7500	56,0	5,8

Відцентрові вентилятори. У відцентрових вентиляторах газ рухається перпендикулярно осі обертання робочого колеса.

За утворюваним тиском розрізняють вентилятори низького ($P \leq 3$ кПа), середнього ($P = 3$—15 кПа) і високого ($P > 15$ кПа) тиску. Вентилятори високого тиску називають одноступінчатими газодувками. Подача вентиляторів складає від декількох літрів до декількох десятків тисяч кубічних метрів на годину. К. к. д. змінюється від 0,5 до 0,7.

Тиск нагнітання, утворюваний вентилятором, може бути визначений за формулою:

$$P = P_{ст} + P_{дин} = (f_{тр}/D + \Sigma\xi)(\rho\nu^2/2) + (\rho\nu^2/2), \quad (6.16)$$

де $P_{ст}$ і $P_{дин}$ — статичний і динамічний тиск вентилятора, Па; $f_{тр}$ — коефіцієнт тертя (коливається в межах 0,025 — 0,05); L і D — довжина і діаметр газоходу, м; ξ — коефіцієнт місцевих опорів (0,70—0,85); ρ — густина газу при 0 °С і атмосферному тиску, кг/м^3; ν — швидкість газу, м/с.

Широке поширення одержали відцентрові вентилятори у розгалужених вентиляційних установках, системах пневматичного транспорту, у котельних установках як тягодувні пристрої, для повітрообміну в приміщеннях із кратністю обміну від 3 до 6 (при аварії кратність досягає 10—20, включаючи й аварійну вентиляцію).

Осьові вентилятори забезпечують подовжнє переміщення повітря вздовж осі обертання. Останнім часом широке поширення одержали вентилятори серії 06—320 для вентиляції житлових та промислових будинків. Максимальна подача їх досягає 0,69—

16,1 $м^3$/с, а тиск 180—200 Па.

Однією з переваг осьових вентиляторів є їхня швидкохідність, внаслідок чого їх можна безпосередньо з'єднувати зі швидкохідними електродвигунами і паровими турбінами. В залежності від конструкції лопастей допускається доводити частоту обертання валу до значень 100—200 $с^{-1}$. Тиск нагнітання осьових вентиляторів розраховують за формулою (6.16), наведеною для відцентрових вентиляторів.

Добір вентилятора. При доборі вентилятора враховують його призначення, максимальні значення подачі, тиску в робочих умовах, температуру газу, його хімічну агресивність, наявність механічних домішок. Якщо відомі значення подачі і тиску, вентилятор підбирають за довідковими даними.

При використанні для добору вентилятора індивідуальних характеристик необхідно визначити робочу точку вентилятора. Вона знаходиться на перетині вертикальної лінії, проведеної через вісь абсцис у точці прийнятої подачі Q, і горизонталі, проведеної через вісь ординат у точці прийнятого тиску Р (рис. 6.17). За робочою точкою на графіку можна визначити к.к.д. вентилятора. Якщо к.к.д. в обраному режимі менше 0,9 ($\eta_{макс}$), необхідно змінити умови роботи вентилятора (змінюючи частоту обертання) або перейти до добору іншого типу вентилятора. Дані характеристики встановлюються для стандартних умов.

При виборі пилового вентилятора або димососа необхідно мати на увазі, що швидкість повітря або газу в проточній частині повинна бути не менше швидкості транспортування твердих часток

максимально можливого розміру. У протилежному випадку буде відбуватися осідання часток і засмічення каналів.

При оптимальному режимі роботи зручніше підбирати вентилятори за значенням коефіцієнта швидкохідності. Коефіцієнт швидкохідності n_s визначають у залежності від подачі вентилятора Q, тиску P, частоти обертання n:

$$n_s = 0{,}87n\sqrt{Q}\,(P/\rho^0)^{-3/4}, \qquad (6.17)$$

де ρ^0 — стандартне значення густини повітря, рівне 1,2 кг/м^3 при тиску P° = 101,3 кПа, температурі t = 20 °С і відносній вологості φ = 50 %.

Орієнтовно при n_s<100 використовують відцентрові вентилятори, а при n_s > 100 — осьові.

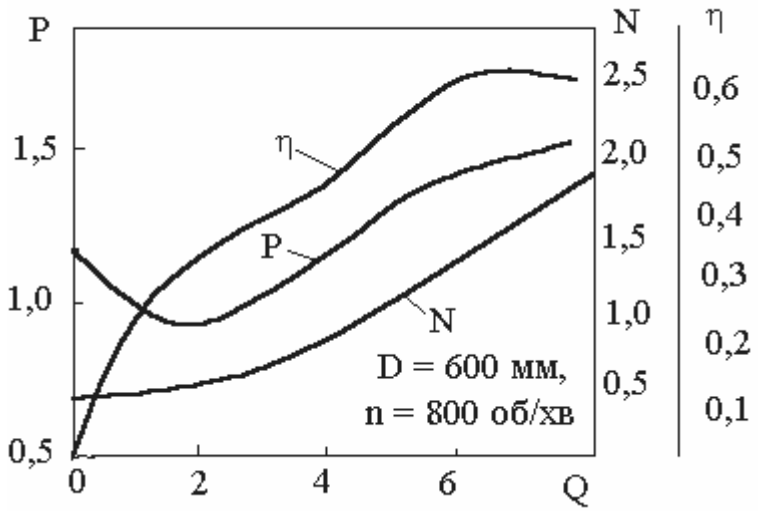


Рис. 6.17. Індивідуальна характеристика вентилятора

Вітчизняна промисловість випускає вентилятори різноманітних розмірів. Номер вентилятора, наприклад № 6, указує діаметр робочого колеса в дециметрах.

6.4.2 Компресори

Компресор — пристрій для стиснення повітря і газу до надлишкового тиску не нижче 0,2 МПа.

За принципом витиснення газу компресори підрозділяють на поршневі, відцентрові та ротаційні. Технічні характеристики деяких компресорів наведені в табл. 6.8.

Таблиця 6.8. **Технічні характеристики деяких компресорів**

Марка	Середовище	Подача, $м^3/с$	Кінцевий тиск, МПа	Частота обертання вала, Гц	Потужність, кВт	Число ступенів стиснення
Поршневі компресори						
ВУ 6/4	Повітря	0,1	0,4	16,3	27	1
2РА 3/350	Азот	0,05	35,0	24,67	58	4
4М16 100/200	CO_2	1,35	20,1	6,25	1208	5
Відцентрові компресори						
К-1500-62-1	Повітря	21,50	0,75	72,83	6300	
К-1300-91-1	Азот	21,67	0,112	75,0	605	
КТК-12,5/35	Кисень	4,67	3,5	23,0	2700	

Поршневий компресор — пристрій, у якому стиснення газу відбувається при зменшенні замкнутого об'єму. Компресори поділяють:

1) за способом дії — простої та подвійної дії;

2) за розташуванням циліндра — із горизонтальним, вертикальним і похилим циліндром;

3) за числом ступенів стиснення — одно-, дво- і багатоступеневі;

4) за способом охолодження — з повітряним і водяним охолодженням.

Компресори можуть стискувати гази до тисків 150 МПа і більше. Процес стиснення протікає ізотермічно або адіабатично. При адіабатичному стисненні газу, що має кімнатну температуру, до 1 МПа його температура збільшиться до 300°С, за котрої компресорне мастило розкладається. Тому одноступінчаті компресори роблять на тиск не більш 0,8 МПа, а для великих тисків виготовляють багатоступеневі компресори (із числом ступенів до восьми) з охолодженням між ступенями.

Ступінь стиснення газу (P_2/P_1) в окремому ступені приймають рівним 3—4. Об'ємний к.к.д. виражається відношенням: $\eta = \upsilon_2/\upsilon_1$, де υ_1 — об'єм циліндра; υ_2 — дійсний об'єм газу, всмоктуваний поршнем (за відрахуванням об'єму газу, що залишився в «мертвій» зоні). Для збільшення об'ємного к.к.д. компресорів намагаються зменшити (заливкою циліндра мастилом, використанням утоплених клапанів і т.д.) об'єм «мертвої зони», що складає 3—4 % від об'єму циліндра. Чисельне значення її залежить від тиску, до якого стискують газ. Чим більше тиск стиснутого газу, тим більший об'єм займе газ, який залишився в шкідливому просторі, при його розширенні і тим менший об'єм

буде засмоктуватися поршнем. При підвищенні тиску стиснення досягається стан, коли газ, що залишився в шкідливому просторі, при зворотному ході поршня цілком займе об'єм циліндра. Тоді засмоктування свіжого газу не буде, і λ (коефіцієнт подачі — відношення об'єму газу, подаваного фактично компресором, до об'єму, проходимому поршнем; λ знаходиться в межах 0,7—0,92 і зменшується зі збільшенням тиску) буде дорівнювати нулю. Відношення P_2/P_1 , при якому λ = 0, називають межею стиснення. Таким чином, фактично об'єм газу, що засмоктується, завжди менше об'єму, що відсмоктується поршнем. Фактично об'єм, що нагнітається компресором, приведений до умов усмоктування, завжди менше об'єму, що засмоктується (за індикаторною діаграмою). Це пояснюється наявністю ряду втрат (перепуск в клапанах і в циліндрі, опір на всмоктуванні, вологість газу, що засмоктується, і т.д.).

Продуктивність ($м^3/с$) одноциліндрових компресорів:

одинарної дії $Q = \eta(Fsn)$, (6.18)

подвійної дії $Q = \eta\,(2F — f)\,sn.$ (6.19)

Продуктивність ($м^3/с$) багатоциліндрового компресора одинарної дії:

$$Q = \eta Fsni. \qquad (6.20)$$

Де F — площа перетину поршня першого ступеня, м^2; s — хід поршня, м; f — площа штока, м^2; і — число циліндрів.

Споживана потужність (Вт) електродвигуна:

$$N = \beta_м N/\eta. \qquad (6.21)$$

Де $\beta_м$ — коефіцієнт запасу потужності, рівний 1,1—1,2.

Регулювання подачі поршневих компресорів здійснюють шляхом повного або часткового відкриття всмоктувальних клапанів, перепуском газу з всмоктувальної лінії в нагнітальну.

Відцентровий компресор — пристрій, у якому силовий вплив на газ здійснюється обертовими лопатками. Їх застосовують для подачі великих обємів газу або повітря під тиском від 0,11 до 31,4 МПа.

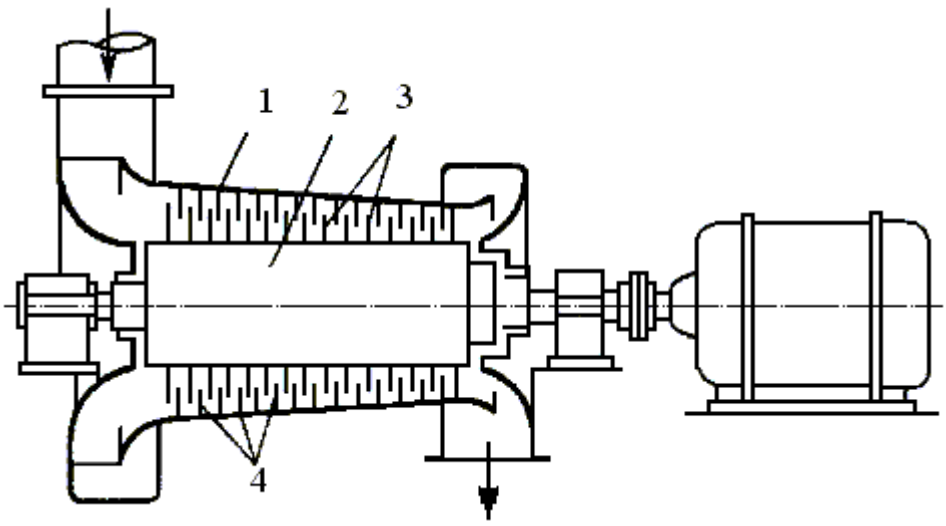


Рис. 6.18. Осьовий турбокомпресор: 1 — корпус; 2 — ротор; 3 —

робочі лопатки; 4 — рухливі лопатки

Відцентрові компресорні машини, що стискують повітря до 0,3 МПа, називають турбоповітродувками. Число ступенів у цих машинах не перевищує 3—4. Для створення більш високих тисків застосовують турбокомпресори з числом ступенів до 16 (рис. 6.18). У турбокомпресорах при ступені стиснення більш 4 використовують проміжне охолодження газу. В багатоступінчастих турбокомпресорах колеса розділені на декілька секцій. У межах кожної секції діаметр і ширина коліс однакові, але в кожній наступній секції розміри коліс менші, ніж у попередньої.

Для синтезу аміаку розроблені відцентрові компресори продуктивністю від 1,06 до 53,8 $м^3/с$ із кінцевим тиском газу до 32 МПа.

6.4.3 Вакуум-насоси

Вакуум-насоси — пристрої для видалення газів і парів із посудин із метою створення розрідження газів (вакууму). Розрізнюють вакуум-насоси сухі (тільки для сухого газу) і мокрі (для рідини разом із газом), поршневі й обертальні.

Технічні характеристики деяких вакуум-насосів наведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.9. **Технічні характеристики обертальних вакуум-**

насосів

Марка насосу	Швидкість відкачування, $м^3/хв$	Максимальне розрідження, % або кПа	Споживана потужність на валу, кВт
З ковзними пластинами			
РВН-7	250	90	14
РВН-30	1500	90	45
РВН-75	3480	90	100
З рідинним поршнем			
КВН-4	20	0,100 кПа	1,5
КВН-8	40	0,100 кПа	2,2
Ротаційні			
РМК-2	0	90	10
РМК-3	8,15	90	28
РМК-4	14,1	90	70
Водокільцеві типу ВВН			
ВВН-0,75	0,75	86	1,3
ВВН-6	6	95	14
ВВН-25	25	98	54

Поршневі вакуум-насоси випускають із клапанним розподілом типу ВНК і з примусовим розподілом (одноступеневі та двоступеневі) типу ВНП. Ці насоси надійні в роботі, прості в обслуговуванні і можуть відсмоктувати гази, що містять краплинну рідину.

Перед пуском поршневого насоса роблять його зовнішній огляд і огляд мастильної системи, підключають воду для охолодження циліндрів, відключають вакуум-насос від системи, відкривають кран, що з'єднується з атмосферою, і включають електродвигун. Перші дві-три хвилини вакуум-насос працює «на себе», а

потім закривають кран на лінії, що з'єднується з атмосферою, і відкривають на лінії відсмоктуючої системи. Для зупинення вакуум-насоса діють в оберненій послідовності.

Значення подачі поршневого вакуум-насоса не постійне — воно знижується зі зменшенням тиску всмоктування. Тому при виборі насоса за каталогом необхідно враховувати не тільки всмоктуваний об'єм, але і значення вакууму, що гарантує подачу.

Обертальні вакуум-насоси з ковзними пластинами типу РВН (рис. 6.19) випускають із швидкістю відкачування від 3 до 75 $м^3$/хв при атмосферному тиску на вході.

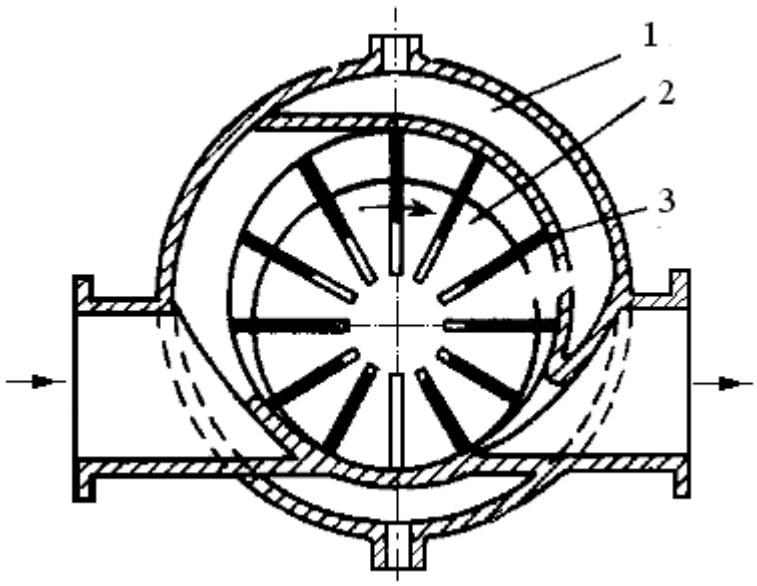


Рис. 6.19. Обертальний вакуум-насос із ковзними пластинами:1 — корпус; 2 — ротор; 3 — пластини.

Основна перевага — велика швидкість відкачування. Змащення насоса здійснюють за допомогою іншого насоса, що приводиться в рух від валу вакуум-насоса.

Обертальні вакуум-насоси з рідинним поршнем типу

КВН-4 і КВН-8 (рис. 6.20) відсмоктують газ або повітря в суміші з рідиною зі швидкістю від 0,25 до 460 $м^3$/хв. Вони незамінні у випадку стиснення газів, що не допускають контакту зі змащенням і займистими рідинами. Ці насоси випускають консольного типу з малою, середньою і високою швидкістю відкачування. Середня швидкість відсмоктування від 3 до 10 $м^3$/хв (вакуум 90 %, граничний надлишковий тиск 0,13 МПа).

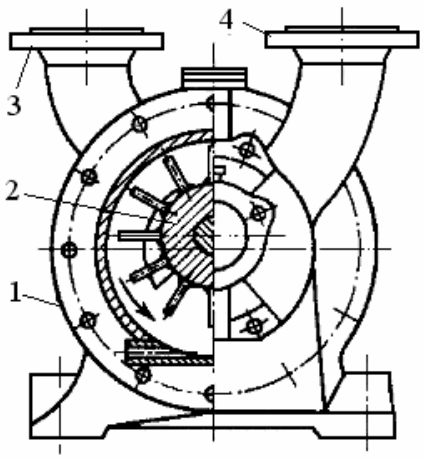


Рис. 6.20. Обертальний вакуум-насос із рідинним поршнем: 1 — корпус; 2 — робоче колесо з лопатками; 3 — всмоктувальний патрубок; 4 — нагнітальний патрубок.

Під час роботи необхідна безупинна циркуляція через насос води — для підтримки постійного об'єму рідинного кільця, а також для охолодження насоса. Регулювання об'єму води, що циркулює, здійснюють вентилем, установленим на лінії води.

Обертальні ротаційні вакуум-насоси з рідинним поршнем типу РМК мають максимальний вакуум 90 %, граничний надлишковий тиск 0,13 МПа, їх застосовують для нагнітання або

відсмоктування повітря, газів або парів із метою створення розрідження або невисокого надлишкового тиску в закритих апаратах.

Принцип роботи цих насосів аналогічний роботі обертальних машин із рідинним поршнем, тобто всмоктування і стиск газу здійснюється рідинним кільцем за рахунок зміни об'єму чарунок ротора. Регулювання вакууму і продуктивності ротаційних вакуум-насосів досягається в невеличких межах за допомогою впускного крана, що знаходиться на всмоктувальній лінії, за допомогою запровадження повітря. Але їх не можна використовувати для відкачки вибухонебезпечних і отруйних середовищ.

Обертальні водокільцеві вакуум-насоси типу ВВН випускають із швидкістю відкачування від 0,75 до 50 $м^3$/хв для роботи з вибухонебезпечними середовищами. За допомогою цих насосів можна досягти залишкового тиску порядку 5 кПа. Для створення залишкового тиску 0,5 кПа застосовують вакуумні установки, що складаються з послідовно з'єднаних вакуум-насоса й ежектора. Ежектор приєднують із боку всмоктування до вакуум-насоса та підключають у роботу при досягненні розрідження 90 %. Насоси типу ВВН відрізняються простотою у виготовленні, складанні, ремонті й обслуговуванні.

6.5. трубопроводи й арматура

6.5.1 Трубопроводи

Внутрішньозаводське транспортування газів і рідин здійснюють трубопроводами. Система трубопроводів складає до 10—15 % вартості всього цехового устаткування. Вона включає: матеріальні трубопроводи, паропроводи, конденсатопроводи, трубопроводи стиснутого повітря та азоту, технологічний водопровід, пожежно-господарський водопровід, вакуумні системи і виробничу каналізацію.

Для матеріальних трубопроводів рідин звичайно застосовують труби діаметром не менше 40 мм, при транспортуванні суспензій і рідин, що кристалізуваються, труби діаметром не менше 70 мм.

Для чищення трубопроводів на поворотах передбачені штуцери з заглушками або фланцеві роз'єднання. У деяких випадках використовують продування повітрям, азотом або парою.

При передачі трубопроводом продуктів, які застигають при низьких температурах, застосовують обігрів за допомогою парової труби — «супутника», що приварюється до основного теплоізольованого трубопроводу.

Вакуумні схеми роблять як можна простішими, а трубопроводи короткими, щоб знизити число нещільностей. Для зменшення гідравлічного опору вакуумпроводи конструюють із труб великого діаметру, а як запірну арматуру застосовують крани і засувки. Використання вентилів через великий гідравлічний опір не рекомендується. Труби виготовляють переважно зі сталі, чаву-

ну, кольорових металів, скла, кераміки, порцеляни і пластмас.

Там, де потрібно особлива чистота продукту й оптичний контроль, установлюють скляні труби. Напірні скляні труби виготовляють двох класів: СТ-8 — для робочого тиску 0,08 МПа і СТ-4 — для 0,04 МПа. Вони допускають температурний перепад до 40 °С при нагріванні і 30 °С при охолодженні.

Для здійснення переходу з труби одного діаметру на трубу іншого діаметра, повороту трубопроводу, для розгалуження потоку служать фасонні деталі (рис. 6.21): переходи, трійники, хрестовини, коліна, калачі. Для компенсації температурних подовжень трубопроводів крім гнучких компенсаторів (рис. 6.22) використовують також лінзові і хвилясті. У випадку скляних труб застосовують гофровані компенсатори з гуми або фторопласту.

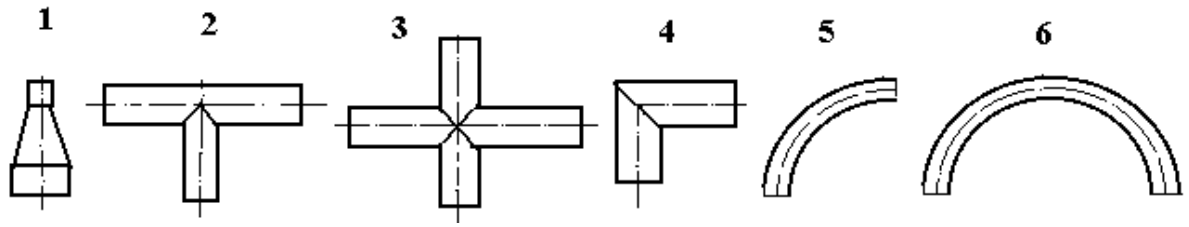


Рис. 6.21. Фасонні деталі трубопроводів: 1 — перехід; 2 — трійник; 3 — хрестовина; 4 — двійник; 5 — відвід (коліно); 6 — колесо (калач)

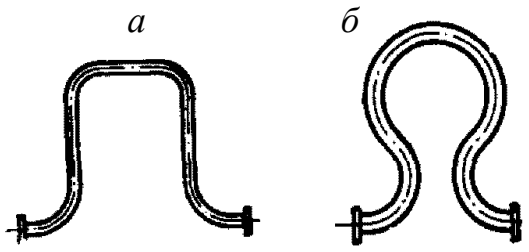


Рис. 6.22. Компенсатори: *а* — П — образний; *б* — лірообразний

Монтаж трубопроводів роблять на опорних колонах, виготовлених із сталі або залізобетону. Кріплення трубопроводів до колон здійснюють за допомогою хомутів, скоб і підвісок на рухливих або нерухомих опорах (рис. 6.23). Іноді застосовують підвісні опори.

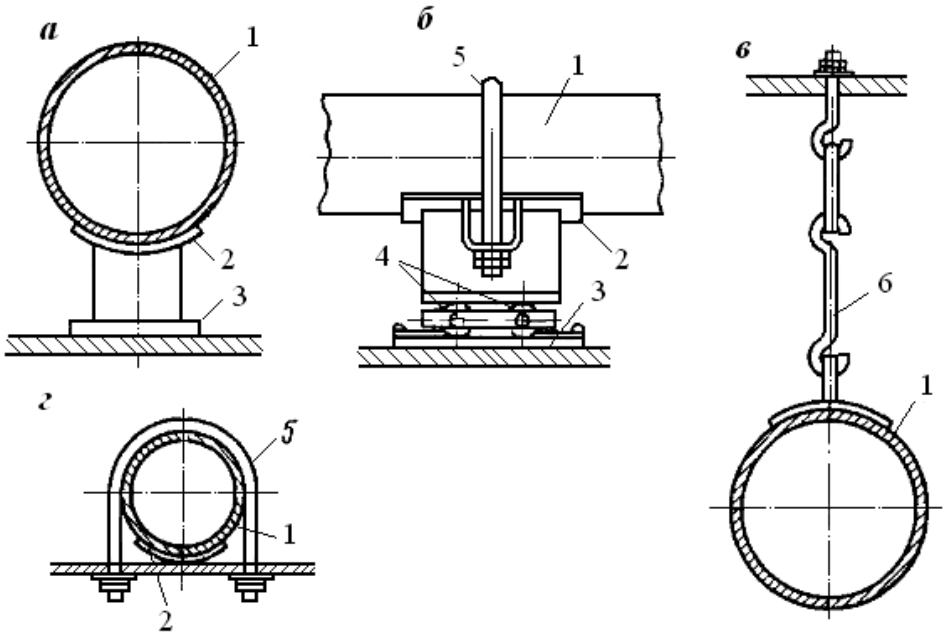


Рис. 6.23. Конструкції опор трубопроводів: *а* — нерухома; *б* — рухлива; *в* — підвісна; *г* — направляючий хомут; 1— труба; 2 — прокладка; 3 — опорна плита; 4 — котки: 5 — хомут; 6 — підвіска

6.5.2 Запірна і регулююча арматура

Керування потоками газів або рідин здійснюють за допомогою запірної і регулюючої арматури: вентилів, кранів, засувок, клапанів.

Вентиль (рис. 6.24) — пристрій, у якому перекриття проходу досягається за допомогою клапана, який здійснює поступальний рух. Їх застосовують у широкому інтервалі тисків.

Діафрагмовий (мембранний) вентиль (рис. 6.24, *б*), у якому запірним органом є еластична мембрана, виконана з пластмаси або гуми, застосовують на лініях, що передають кислі розчини і суспензії.

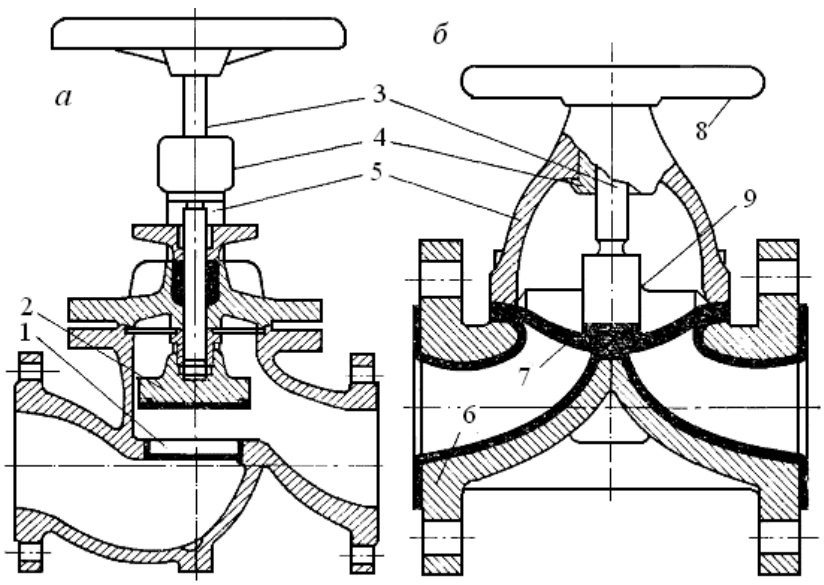


Рис. 6.24. Фланцевий (*а*) і діафрагмовий (*б*) вентилі: 1— сідло; 2 — золотник; 3 — шпиндель; 4 — втулка; 5 — скоба; 6 — корпус; 7 – мембра-на; 8—маховик; 9 — хрестовина.

Його корпус чавунний, захищений гумою, пластмасою або емаллю. Вентиль має незначний гідравлічний опір. На лініях передачі агресивних рідин із зваженими речовинами використовують шлангові вентилі. У них перекриття проходу здійснюється закладеним у чавунному корпусі гумовим патрубком. Розмір проходу регулюється шляхом пережиму патрубка колодкою, зв'язаною зі шпинделем.

На лініях, що передають газоподібний або рідкий аміак, застосовують регулюючий вентиль. Точне регулювання в ньому досягається за рахунок конічної форми нижньої частини золотника. Позитивною якістю є порівняно невеличкий хід клапана, необхідний для повного відкривання. Недолік полягає у великому гідравлічному опорі, що недопустимо при роботі з рідинами, які містять суспензії.

Кран (рис. 6.25) — пристрій, обладнаний конічною або кульовою притертою пробкою з наскрізним отвором, поворотом якого здійснюється регулювання потоку.

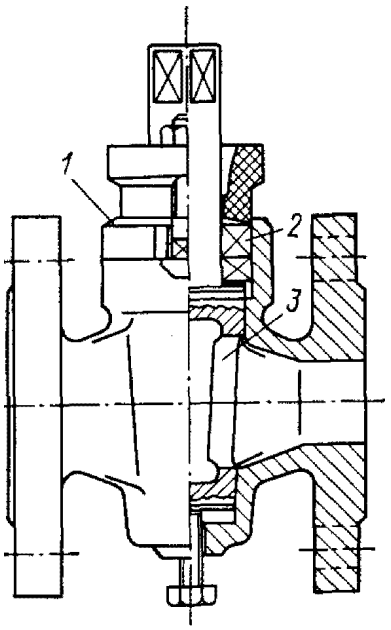


Рис. 6.25. Чавунний прохідний сальниковий фланцевий кран: 1— корпус; 2 — сальник; 3 — пробка

Крани виготовляють із сірого та висококремнистого чавуну, нержавіючих сталей, кераміки, скла, порцеляни, пластмас, графіту. Крани застосовують на лініях вакууму, кислот, лугів, на лініях, що передають забруднені рідини, та рідини, які кристалізуються. Для транспортування соляної і сірчаної кислот використовують покриті гумою і фаолітом крани. Вони можуть працювати при 60 і 100 °С відповідно.

Перевага кранів — малий гідравлічний опір, можливість прочищення трубопроводів через відкритий кран. Недоліки — погана герметичність при високих тисках, трудність регулювання витрати. Тому їх не можна застосовувати на парових лініях, на трубопроводах скраплених рідин, які знаходяться під тиском, що може викликати гідравлічний удар при різкому відкриванні і закриванні крана (наприклад, на лініях водопроводу), на лініях, де потрібно точне регулювання подачі.

Засувка (рис. 6.26) — пристрій, перекриття в якому здійснюється завдяки диску (шиберу), що перегороджує потік. Засувка клинкетна, або клинова облаштована диском, що має форму клина, у поперечному перетині, а паралельна, або шиберна складається з двох симетричних тарілок, між якими прилаштований клин. Відмінність шиберної засувки від клинової полягає в тому, що ущільнюючі поверхні, перпендикулярні повздожній осі корпусу.

Засувки використовують в основному для трубопроводів великих діаметрів (до 2 м) на лініях подачі води, олив (мастил) та інших однофазних рідин і газів. Їх виготовляють із чавуну, вуглецевої і легованої сталі діаметрами 0,05—1,5 м для тисків від 0,4 до 10 МПа.

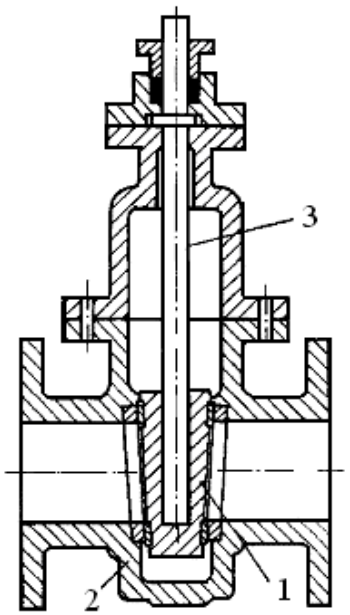


Рис. 6.26. Засувка: 1— шибер; 2 — корпус; 3 — шпиндель

До переваг засувок відносять: малий гідравлічний опір; зручність регулювання витрати; безпека у відношенні гідравлічного удару. Їхні недоліки: висока вартість; трудність ремонту ущільнюючих поверхонь; непридатність для роботи з рідинами, які містять зважені частки.

Клапан — пристрій, у якому керування витратою потоку здійснюється шляхом зміни площі прохідного перетину.

На хімічних підприємствах використовують піднімальні і поворотні клапани. Чавунними гумованими поворотними клапанами обладнують трубопроводи, що транспортують сірчану і соляну кислоти. Піднімальні зворотні клапани встановлюють тільки на горизонтальному трубопроводі.

За призначенням клапани поділяють на зворотні, регулюючі та запобіжні.

Зворотні клапани застосовують для запобігання зворотного потоку рідини на лініях із тиском до 200 МПа.

Регулюючі клапани служать для регулювання витрати, тиску або рівня газів або рідин, запобіжні клапани — для попередження виникнення в трубопроводі або в апараті тиску, що перевищує допустимий. Запобіжні клапани поділяють на пружинні і важільно-вантажні. Тиск середовища на золотник у пружинному клапані врівноважується натягом пружини, у важільно-вантажному — вантажем. Пружинні запобіжні клапани виготовляють з вуглецевої сталі в розрахунку на тиск 0,1 — 70 МПа із нержавіючої сталі — на тиск 0,25 — 2,3 МПа. Важільно-вантажні запобіжні клапани роблять чавунними на тиск 1,6 МПа. Вони не

мають сальникових ущільнень, і тому їх не можна встановлювати на лініях для вогненебезпечних середовищ, які проходять усередині помешкання.

Запитання і вправи для самоконтролю

1. Перелічіть види транспорту, за допомогою яких виконуються операції транспортування вантажів в хімічної промисловості.
2. Устрій і види залізничих вагонів, призначених для перевезення вантажів.
3. Технічна характеристика вагонів для твердих матеріалів.
4. Переваги та недоліки окремих видів транспорту.
5. Технічна характеристика основних сучасних вантажних автомобілів.
6. На яких засадах діє пневмотранспорт?
7. В чому полягає розрахунок пневмотранспорту?
8. Порівняйте переваги поршневого та відцентрового насосів.
9. Як змінюється характеристика відцентрових насосів у залежності від подачі?
10. Чим відрізняються вентилятори від компресорів?
11. Дайте технічну характеристику сучасних компресорів, які застосовюються в технології неорганічних речовин.
12. Дайте характеристику і поясніть принципи дії вакуум-насосів.
13. Які пристрої мають сучасні трубопроводи?
14. Яка різниця в устрої та дії між вентилем та краном?

Розділ 7. УСТАТКУВАННЯ СКЛАДІВ

7.1. Склади для збереження твердих матеріалів

7.1.1. Організація складів

Основне призначення складу сировинних матеріалів — забезпечити необхідний для безперебійної роботи підприємства запас сировини (від двотижневого і вище, в залежності від характеру виробництва). Склади можуть бути відкритого, напівзакритого і закритого типів, у тому числі утеплені. У них зберігається до відправлення споживачам також і готова продукція.

Склади відкритого типу являють собою спеціально обладнаний під відкритим небом майданчик. Напівзакриті склади мають навіс, який захищає матеріали від прямого впливу атмосферних опадів. На зазначених складах можуть зберігатися продукти в герметичній тарі й насипні матеріали, якість яких під дією атмосферних опадів мало погіршується (вугілля, вапняк).

Склади для штучних товарів повинні бути обладнані підвісними монорейковими дорогами з електричною тягою і рольгангами, склади для насипного матеріалу — мостовими кранами з грейферними ковшами та складотранспортерами. Сипучі матеріали, що порошать, та гігроскопічні (флотаційний колчедан, сода, кокс, вапно) варто зберігати в закритих складах. Склад повинен бути організований з урахуванням зручності розвантаження і навантаження вагонів. Подача сировини на технологічний потік і готової продукції у вагони повинна бути механізована.

Найбільш раціональними для сипучих матеріалів є заглиблені склади, в яких залізнична колія проходить серединою помешкання (рис. 7.1). Вони мають більшу місткість, чим незаглиблені. Якщо в цеху використовують два види сировини, то вони розвантажуються по різні боки від колії. Звичайно на завод сировина надходить у тому вигляді, у якому її одержують із забою або кар’єру. Склад у цьому випадку служить не тільки місцем

прийому і збереження сировини, але й забезпечує його попереднє роздрібнення. Такий склад являє звичайно довгу однопролітну будову, всередині якої прокладена приймальна залізнична колія (рис. 7.2).

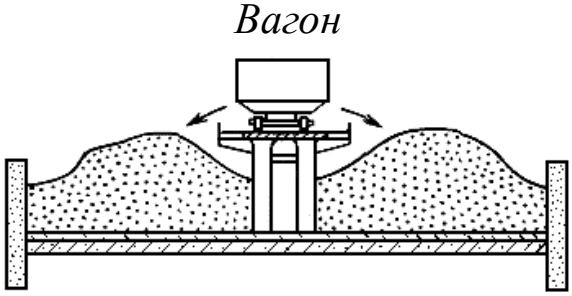


Рис. 7.1. Заглиблений склад

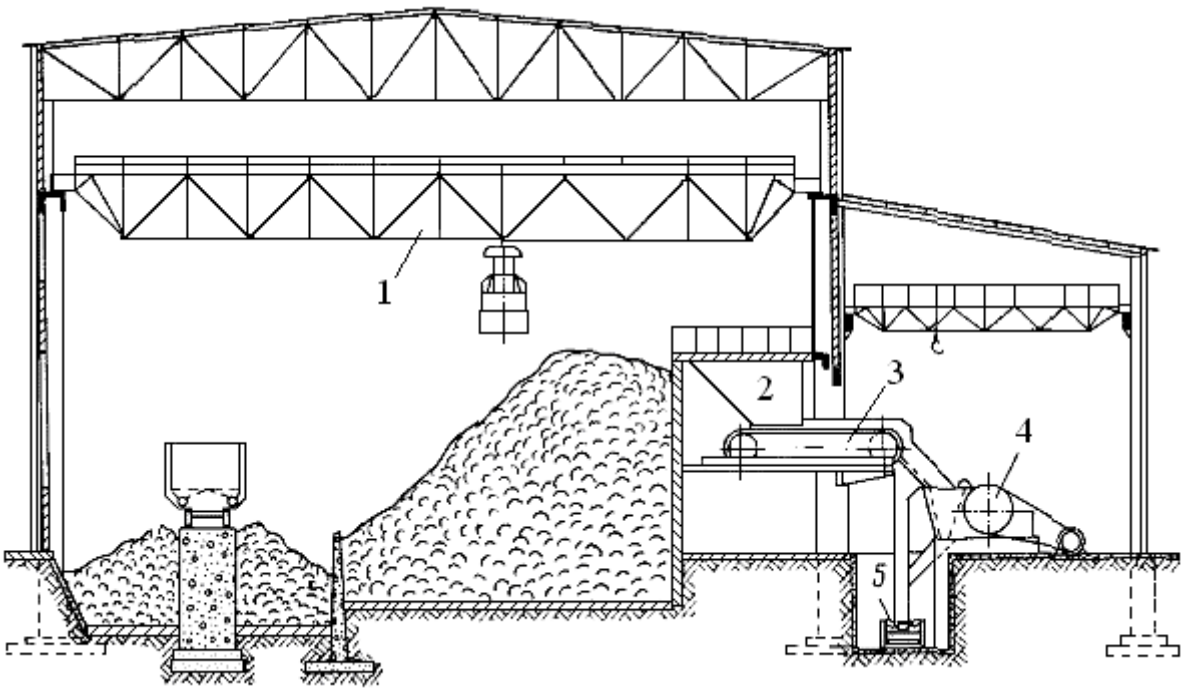


Рис. 7.2. Грейферний склад з установкою для роздрібнення: 1— грейферний кран; 2 — приймальний бункер; 3 — пластинчастий живильник; 4 — щокова дробарка; 5 — стрічковий транспортер

Сировина, що надходить у вагонах, вивантажується в приймальні траншеї з боків залізничної естакади. Склад

обладнаний мостовими кранами з грейферними ковшами. Крани в основному застосовують для штабелювання матеріалу і подачі його у виробництво й лише частково — для розвантаження вагонів (відкритих платформ).

Транспортерна схема передбачає подачу матеріалу на роздрібнення та здрібненого матеріалу зворотно на склад для створення аварійного запасу на випадок тривалого ремонту дробарок.

Більшої ефективності розвантажувальних робіт досягають застосуванням вагоноперекидачів. У цьому випадку вагони розвантажують прямо в приймальні бункери дробарок і склад служить тільки для збереження здрібненого матеріалу (рис. 7.3). Завантаження складу провадиться за допомогою транспортера 4 із самохідним скидальним візком, змонтованого у верхній галереї складу. В результаті вільного падіння здрібненого матеріалу утворюється штабель, довжина якого визначається обмежувачами ходу, встановленими на візку, який рухається взад і вперед. Для доставки матеріалу зі складу на переробку його завантажують за допомогою екскаватора або бульдозера 3 у живильник , який пересувається вздовж складу, 2, а з нього — на стрічковий транспортер 1, прокладений у підземній галереї, відкіля матеріал надходить у цех.

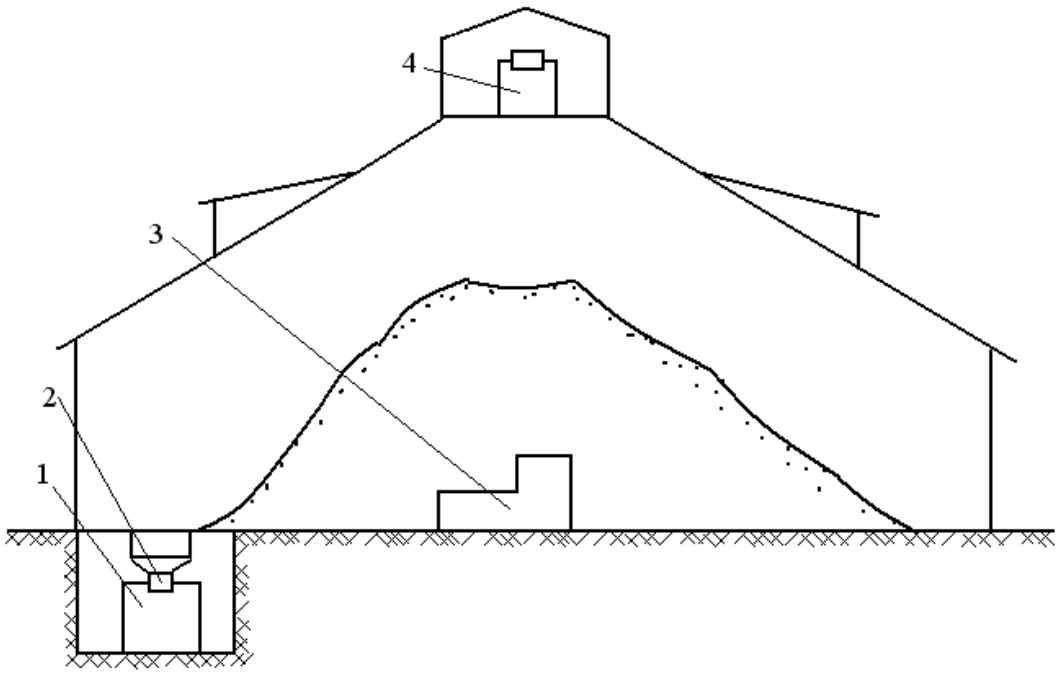


Рис. 7.3. Склад для здрібненого матеріалу: 1, 4 — стрічкові транспортери; 2 — бункер із живильником; 3 — бульдозер

Переваги описаного складу в тому, що збереження в ньому матеріалу поєднується з його усередненням. Це особливо важливо при коливаннях хімічного складу сировини кожної партії. Усереднення досягається тим, що вибірку матеріалу роблять вертикальними зрізами по усій висоті штабеля, утвореного горизонтальною укладкою матеріалу.

У торці складу, на рівні верхнього транспортера, звичайно споруджують пробовідбірну станцію. Вона призначена для безупинного автоматичного добору й опрацювання проб сировини, яка надходить на склад.

Для розрахунку місткості таких складів необхідно знати насипну щільність матеріалу $\rho_н$ і кут природного укосу (тобто кут між поверхнею вільного (природного) укосу насипного матеріалу та горизонтального майданчику, який займає матеріал. Ці характеристики залежать від природи, вологості і ступеня здрібнювання матеріалу.

Місткість заглибленого складу визначають за формулою:

$$G = т\,(V_т + Vн\,)\,\rho_н,$$

де т — число приймальних траншей; $V_Т$ = LBH — обсяг приймальної траншеї (L, B, H — відповідно довжина, ширина і глибина траншеї), м^3; $V_Н$ — об'єм насипу зверху траншеї (заглиблення), м^3.

Об'єм насипу можна розглядати як суму об'ємів конусу $V_К$ і призми $V_{пр}$:

$$V_Н = V_К + V_{пр} = 0{,}0417\pi B^3 \operatorname{tg}\beta + 0{,}25B^2 (L - B) \operatorname{tg}\beta.$$

Бункерні склади являють собою ряд металевих або залізобетонних ємностей, розташованих на висоті. Місткість окремих бункерів перевищує 100 т, а загальна місткість складу доходить до 1000 т і більш (рис. 7.4). Розвантаження

здійснюється знизу самопливом. Для кращого випорожнення бункерів конусність днища повинна бути на 5—10 ° більше кута природного укосу, а діаметр вихідного отвору — на 5—6 діаметрів більше розміру найбільшого шматка матеріалу.

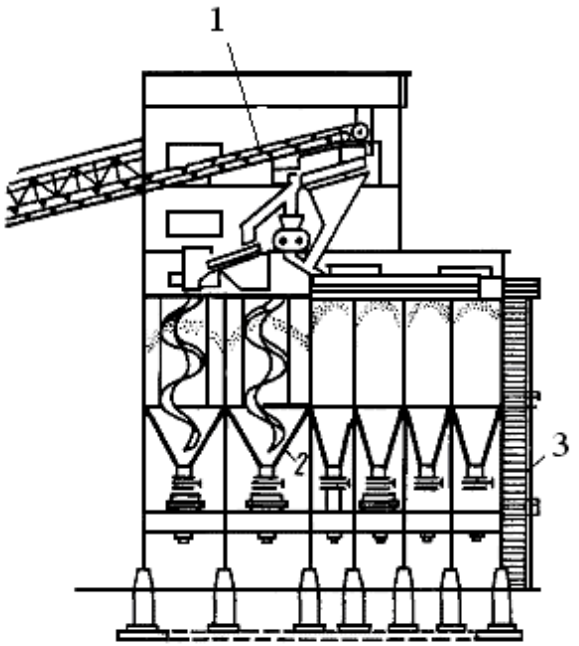


Рис. 7.4. Бункерний склад: 1 — стрічковий елеватор; 2 — бункер; 3 — східці (драбина)

Силосні склади являють собою сталеві або залізобетонні вежі значних розмірів із конічним днищем (наприклад, місткість вежі для збереження соди досягає 5000 т). Для запобігання злежуванням матеріалу у вежі періодично подають стиснуте повітря або роблять пересипання матеріалу з однієї вежі в іншу. Наприклад, на складі соди встановлюють, дві сталеві силосні вежі і шість укупорочних машин (рис. 7.5). Обидві вежі обслуговуються одною системою піднімальних пристроїв. У шахті вежі розміщений елеватор, що складається з двох секцій. Сода з відділення содових печей надходить у приймальний бункер 1, відкіля через ваги шнековим транспортером 2

подається у нижню частину вежі. Звідси елеватором 4 сода подається нагору і по гвинтових похилих жолобах 5 зсипається в нижню частину вежі. В міру заповнення веж відчиняються більш високо розташовані отвори на жолобах. Розвантаження соди з вежі здійснюється через тічки 6 в укупорочне відділення або у вагони.

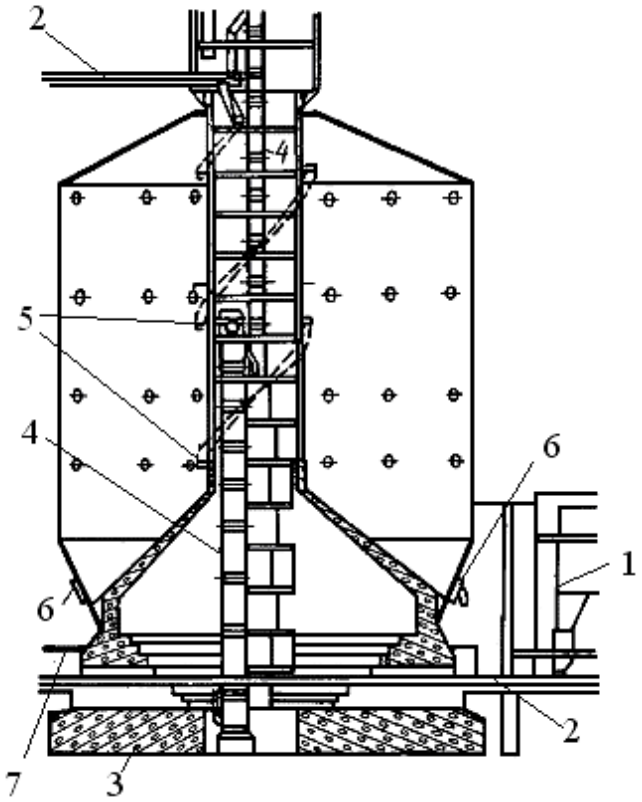


Рис. 7.5. Силосний склад: 1 — приймальний бункер; 2 — транспортер; 3 — залізобетонна основа; 4 — елеватори; 5 — гвинтові похилі жолоби; 6 — тічки; 7 — рухливий розвантажувальний стіл

Бункерні і силосні склади займають малу площу, легко піддаються механізації й автоматизації.

7.1.2. Устаткування складів

Склади оснащують устроями для дозування, здрібнювання, змішування і подачі сировини, допоміжних матеріалів і реагентів. Так, змішування рідких матеріалів із

твердими здійснюють у баках із механічним або пневматичним перемішуванням, а також у млинах мокрого помелу. Тверді порошкові матеріали змішують у барабанах або шнекових змішувачах.

Для автоматичного відмірювання (дозування) заданих маси або об'єму матеріалу служать дозатори. Точне дозування здійснюють також за допомогою ваг. Часто застосовують ваги з коромислом і перекидними ковшами. Надходження матеріалу в ківш і переміщення гирьотримача нагору продовжуються доти, доки маса матеріалу не зрівноважиться противагою, пов'язаною автоматично з перекривачем доступу матеріалу в ківш.

Подачу насипних і штучних вантажів із завантажувальних пристроїв до транспортуючих чи переробних машин і їхнє дозування здійснюють живильниками. Пластинчасті живильники застосовують для живлення дробарок рудою в тому вигляді, в якому вона надходить із рудників, для рівномірної подачі здрібнених матеріалів в апарати, де їх піддають подальшій переробці, для дозування великошматкових і гарячих матеріалів. Шнековий живильник використовують для подачі порошкоподібного матеріалу (антрациту, вапна, крейди, кальцинованої соди, цементу та інших матеріалів), а стрічковий живильник — для подачі антрациту, апатитового концентрату, флотаційного колчедану, фосфатної муки, суперфосфату та кухонної солі. Для дозування сухих сипучих (не грудкових) матеріалів служить секційний живильник, що являє собою барабан, розділений подовжніми перегородками на секції (рис. 7.6). При обертанні барабана (зі швидкістю 0,3— 1,0 м/с) матеріал надходить послідовно в одну секцію за іншою при верхньому їхньому розташуванні і послідовно скидається при їхньому нижньому розташуванні. Регулювання роботи живильника здійснюється зміною частоти обертання барабана.

Тарілчастий живильник являє собою горизонтальну тарілку 2, що обертається на вертикальному валу 1, який приводиться в рух електродвигуном через редуктор (рис. 7.7). Матеріал на тарілку подається через «телескопічну» трубу 4, сполучену з ручним маховиком. Обертаючи останній, трубу можна

встановлювати на більшій або меншій висоті від тарілки. Матеріал, що надходить на тарілку, ковзає при її обертанні впродовж нерухомого ножа 3 й скидається в нижчерозташований лоток або інший приймач. Піднімаючи або опускаючи трубу, регулюють подачу матеріалу. Тарілчасті живильники застосовують для подачі колчедану, крейди, сірки, кухонної солі, цементу.

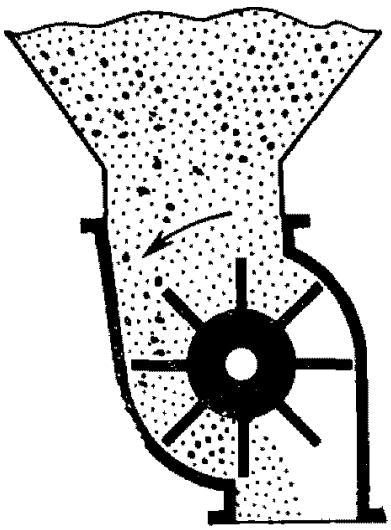


Рис. 7.6. Секційний живильник

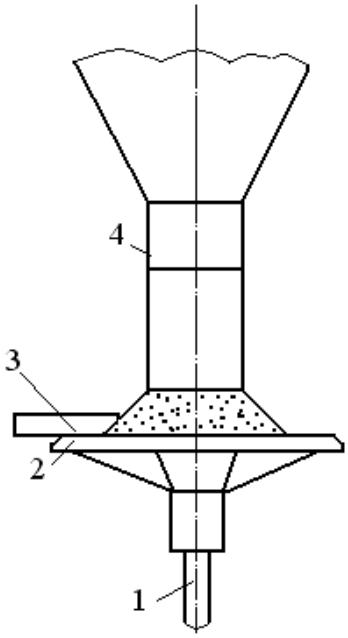


Рис. 7.7. Тарілчастий живильник: 1 — вал; 2 — горизонтальна тарілка: 3 — ніж; 4 — телескопічна труба

Розвантажувальний апарат призначений для рівномірного випорожнення бункерів. Він складається з обертового валу, розташованого по довжині розвантажувальної щілини бункера. До валу прилягають металеві пластини, якими регулюється товщина прошарку матеріалу, що захоплюється з бункера валом при його обертанні. Регулювання здійснюється наближенням пластини до валу або її віддалення.

7.2. Склади для збереження рідких продуктів

7.2.1. Організація складів

Умови збереження й організація складів рідких продуктів визначаються фізико-хімічними і біологічними властивостями продуктів.

За пожежо- і вибухобезпечністю умовно розрізняють чотири групи рідин: I — горючі та легкозаймисті (вуглеводні, розплавлений фосфор); II — негорючі (рідкі комплексні добрива, ропи, кислоти); III — скраплені вибухонебезпечні гази (аміак); IV — скраплені невибухонебезпечні гази (хлор, диоксід сірки). Продукти кожної групи зберігають на окремих складах. Устаткування складів повинно відповідати вимогам, викладеним у нормативних документах. Деякі хімічні речовини класифікують як сильнодіючі отруйні речовини (СДОР). До їхнього зберігання встановлюють додаткові вимоги. У відношенні санітарних правил збереження СДОР поділяють на п'ять груп, із яких у перші дві входять тверді речовини, у третю — рідкі летучі, що зберігаються під тиском (хлор, аміак, SO_2), у четверту — рідкі летучі, що зберігаються в ємностях без тиску (сірковуглець, синильна кислота), у п'яту — кислоти, які димлять (олеум, азотна, соляна).

На складах здійснюють основні і допоміжні операції. До основних відносять:

- прийом продуктів із залізниці або з виробництва;
- збереження; відвантаження в цистернах або перекачування продуктів споживачам;
- вимір і облік продуктів;
- оформлення товарно-транспортної документації.

Допоміжними операціями є:

- нагрів або охолодження продукту;
- коригування концентрації;
- уловлювання й утилізація продуктів газової фази.

Склади для рідин складаються з резервуарного парку, зливального фронту (тупикової колії зі стояками для

випорожнення або наповнення цистерн) та внутрішньоскладських технологічних комунікацій.

Резервуарний парк складів розташовують на піддоні, виготовленому з корозійно-стійких матеріалів. Вільний об'єм піддону приймають рівним одній третині місткості складу, але не менше місткості найбільшого резервуару. Під залізничними коліями по довжині естакади для випорожнення і заповнення цистерн також установлюють піддони.

Визначення місткості складу здійснюють у залежності від необхідного запасу сировини, що забезпечує безперебійну роботу підприємства, та від доцільного накопичення продукції, що підлягає відправленню. Норми збереження рідини складають з урахуванням умов її виробітку, споживання, токсичності, пожежно-вибухо-безпечності й транспортних умов. Запас хімікатів складається з поточного

$$З_п = Aτ \qquad (7.1)$$

і страхового компонентів

$$З_с = A\,(2 + τ_{тр} + τ_п). \qquad (7.2)$$

Де А — середньодобове споживання або виробіток рідини, т; τ — інтервал між черговими постачаннями або відправленнями хімікату, доба; $τ_{тр}$ — тривалість транспортування вантажу від станції відправлення до станції призначення, доба; $τ_п$ — тривалість підготовки продукту до виробничого використання, доба.

Тривалість транспортування продукту залізницею визначають за формулою:

$$τ_{тр} = L/330, \qquad (7.3)$$

де L — відстань, км; 330 — середня швидкість руху вагонів, км/добу.

Для компенсації нерівномірності відправлення вантажів місткість складу рекомендують збільшувати ще на 2—4-добовий запас. При прийомі рідини по магістральному трубопроводу місткість складу приймають рівною 2—3-добовій витраті.

Число резервуарів на складі визначають, керуючись такими положеннями.

При періодичному і незбіжному в часі прийомі та відправленні продукту встановлюють два резервуари. За необхідності безупинного прийому і відправлення продукту з перевіркою його якості встановлюють три резервуари.

Число резервуарів на складі може бути більшим, ніж це необхідно технологічно, якщо технічно неможливо й економічно недоцільно виготовлення резервуарів більшої місткості або є обмеження на об'єм резервуара, передбачені органами санітарного і пожежного нагляду.

Принципова схема складу для рідин наведена на рис. 7.8.

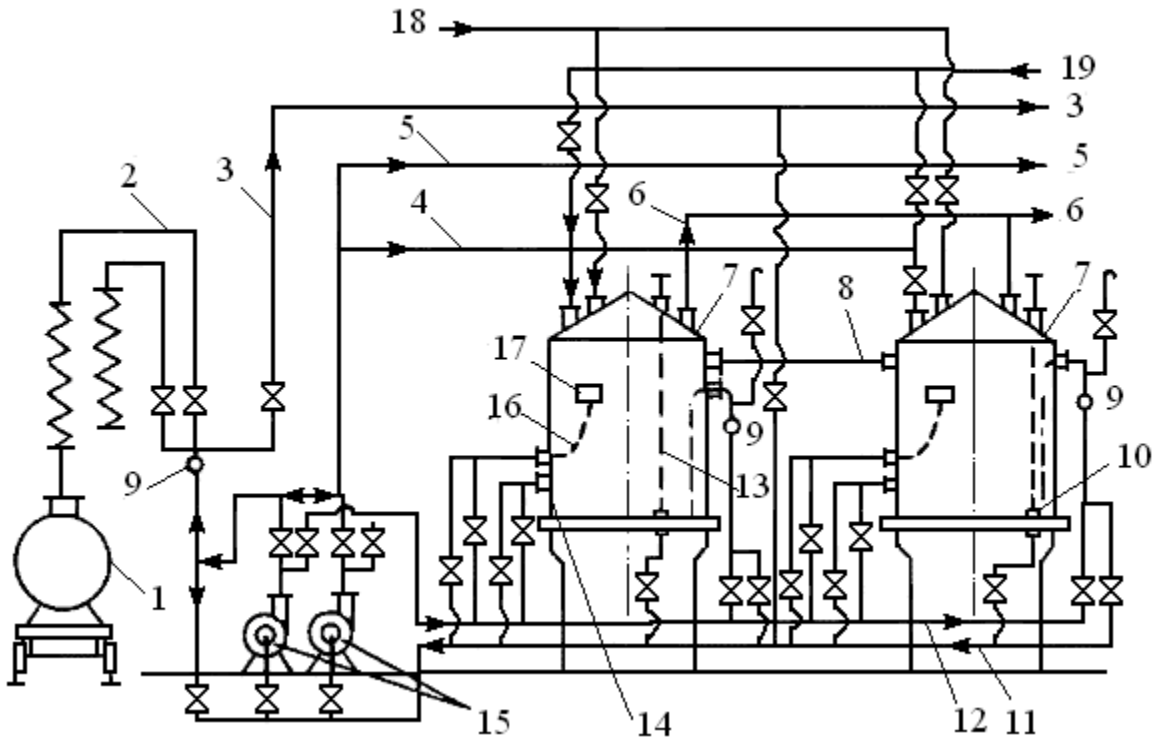


Рис. 7.8. Принципова схема складу для рідин: 1 — цистерна; 2 — стояк; 3 — вакуумна лінія; 4—6, 11, 12, 18, 19 — трубопроводи; 7 —

резервуари; 8 — переливні труби; 9 — оглядові ліхтарі; 10, 14 — штуцери; 13 — сифон; 15 — насоси; 16 — гофрований шланг; 17 — поплавець

Якщо склад призначений для збереження кислоти, тоді злив із резервуарів або їхнє заповнення відбувається звичайно через сифони.

З цистерни (рис. 7.8) кислота через стояк 2 надходить в один із насосів 15 і нагнітальним трубопроводом 12 через приймальний штуцер сифона 13 закачується в один із резервуарів 7 або трубопроводом 5 направляється споживачу. Наповнення резервуарів може здійснюватися трубопроводом 4. Всі резервуари з'єднані між собою переливними трубами 8, що виключає їхнє переповнювання. Заповнення стояка 2 рідиною здійснюють підключенням його до вакуумної лінії 3. Зарядку сифонів забезпечують підключенням усмоктувального кислотопроводу 11 до вакуумної лінії або подачею в них кислоти насосом нагнітальним трубопроводом 12.

Заповнення сифонів і стояка контролюють за допомогою оглядових ліхтарів 9. Повітря що витискується при заповненні резервуара та містить пари кислоти, перед видаленням в атмосферу надходить трубопроводом 6 у барботажний апарат, заповнений розчином лугу. З'єднання резервуарів із насосами нагнітальним 12 і усмоктувальним 11 трубопроводами дозволяє перекачувати рідину з одного резервуара в інший. Перед ремонтом резервуари спорожнюють через штуцер 10 у днищі. Потім продувають стиснутим повітрям, яке подається трубопроводом 6.

З використанням тієї ж схеми розглянемо тепер випадок, коли склад призначений для збереження розчину гідроксиду натрію.

Якщо гідроксид натрію надходить із виробництва, його спрямовують у резервуари трубопроводом 19. Якщо ж розчин приймається з залізниці, то він із цистерни 1 надходить через стояк 2 в один із насосів 15 і закачується у резервуар 7 напірним трубопроводом 12 через приймально-роздавальний штуцер 14 або по трубопроводу 4. Перед прийомом розчин у цистернах

підігрівають глухою парою до температури приблизно 30 °С. Повітряники резервуарів зв'язані безпосередньо з атмосферою.

Зливання продукту роблять через основний приймально-роздавальний штуцер 14. Якщо твердий осад хлориду натрію, що зібрався в резервуарі, знаходиться вище штуцера, то розчин відкачують через гнучкий шланг 16, до кінця якого прикріплений поплавець 17. Потім у резервуар подають трубопроводом 18 гарячу воду. Розчин хлориду й гідроксиду натрію, який утворився, відкачують через штуцер, розташований у днищі, й спрямовують у виробництво або на станцію нейтралізації.

Склади для скраплених газів улаштовують відповідно до чинних нормативних документів, у яких регламентована місткість складів, розташування резервуарів, коефіцієнт їхнього заповнення. На рис. 7.9 подана принципова схема складу для аміаку. Скраплений аміак надходить із виробництва трубопроводом 9. Заповнення або випорожнення залізничних цистерн 1 здійснюють по трубопроводах 7 і 14 під тиском парів аміаку. Один резервуар 2 із кожних 4—5 обладнаний теплообмінним пристроєм, у який трубопроводом 11 надходить водяна пара із тиском 0,6— 0,8 МПа. Конденсат виводиться трубопроводом 12. Тиск парів аміаку, які утворяться, може передаватися в інший резервуар 3 (трубопроводами 15 і 16) або в цистерну 1 (трубопроводами 15 і 6). За необхідності споживачам може подаватися газоподібний аміак трубопроводом 8.

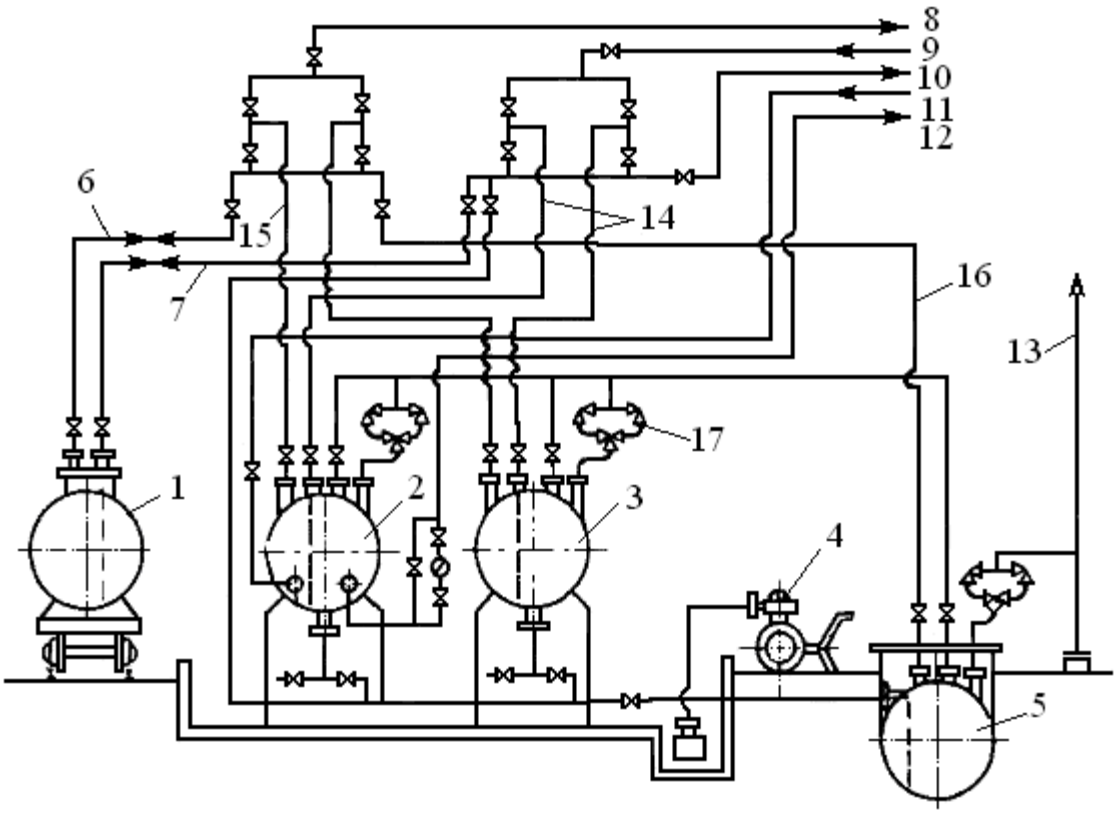


Рис. 7.9. Принципова схема складу для аміаку: 1 — цистерна; 2,3, 5 — резервуари; 4 — пересувний насос; 6—12, 14—16 — трубопроводи; 13 — вихлопна труба; 17 — запобіжний клапан

Підземний резервуар 5 заповнюють тільки в аварійних випадках. При підвищенні тиску в резервуарі вище встановленого спрацьовують запобіжні клапани 17, і надлишковий газоподібний аміак скидається на свічу (вихлопну трубу) 13.

При цьому аміак із несправного резервуара надходить самопливом через його нижній штуцер.

Для змиву розлитого продукту над резервуарами прокладають водопровід, обладнаний форсунками. Аміачна вода, що утвориться, збирається в заглибленій частині піддону складу й відкачується насосом 4 у резервуар аміачної води.

Резервуари на складах аміаку розташовують на відкритій площадці не більш ніж у два ряди. Робочий тиск приймають рівним 1,5 МПа.

Ізотермічні сховища призначені для зберігання аміаку при постійних низьких температурах (–32?–34 °С) та тисках трохи

вищих атмосферного (0,002?0,008 МПа). В цьому випадку більш як в 10 разів скорочується металоємність в порівнянні з резервуарами під тиском. Постійну низьку температуру підтримують за рахунок охолодження скрапленого аміаку шляхом випаровування деякої його кількості. Газоподібний аміак потрапляє на всмоктування компресорів аміачно-холодильної установки, що працюють за замкнутим циклом і якими облаштовані склади.

Принципова схема зберігання скрапленого аміаку в ізотермічному сховищі наведена на рис. 7.10.

Ізотермічний резервуар являє собою вертикальну циліндричну посудину з подвійними стінками, плоским днищем та куполоподібним самонесучим дахом. Простір між стінками заповнюється високоякісним теплоізоляційним матеріалом та під'єд-нується до системи осушеного азоту (100—200 Па). Це дозволяє звести до мінімуму витрати на підтримання постійної низької температури.

Основні технічні характеристики ізотермічного резервуару:

– діаметр посудини, м

внутрішньої – 30,3

зовнішньої – 31,9

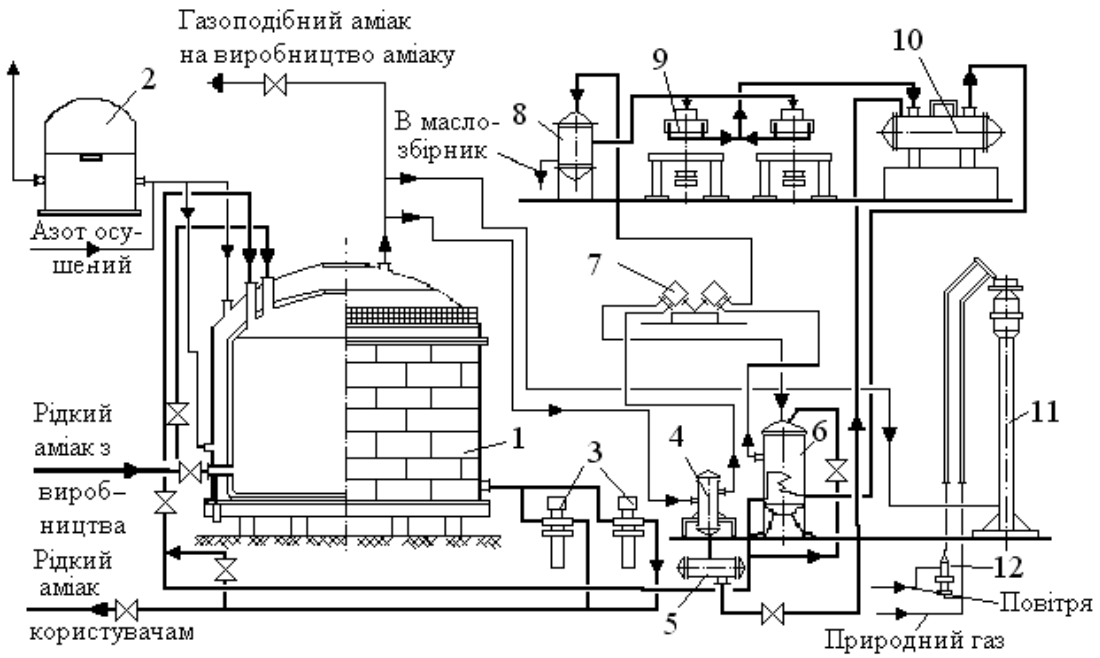


Рис. 7.10. Схема складу скрапленого аміаку з ізотермічним сховищем: 1 — ізотермічне сховище; 2 — сухий газгольдер азоту; 3 — насос скрапленого аміаку ; 4 — сепаратор; 5 — ресивер; 7 — компресори; 8 — мастиловідділювач; 9 — конденсатор; 10 — збірник скрапленого аміаку; 11 — факельна установка; 12 — запобіжно-запалювальний пристрій

– висота циліндричної частини, м
внутрішньої – 19,8
зовнішньої – 21,3
– геометричний об'єм, тис.м^3 17,1
– об'ємний коефіцієнт заповнення – 0,905
– витрата металу на м^3 максимального обсягу заливу, кг – 39,4

Фундамент під резервуаром являє собою залізобетонну монолітну плиту діаметром 32,5 м, товщиною 600 мм, яка спирається на залізобетонні палі (сваї), на висоті 1,95 м від поверхні землі.

Ізотермічне сховище, як правило, огороджують земляними валами або залізобетонними стінами. Висота валу приймається не нижчою 2,7 м, діаметр — не менше 84 м (за внутрішньою нижньою гранню). При цьому розрахунковий рівень скрапленого аміаку, на випадок його витікання, в огородженні повинен бути не менше чим на 0,3 м нижче висоти огородження.

Склад для скрапленого хлору розташовують у спеціальному приміщенні. Кожен резервуар встановлюють у герметичному відсіку, що старанно вентилюється. Перетиснення хлору з резервуарів і цистерн здійснюють осушеним стиснутим повітрям (1,2 МПа). На складі крім резервуарів для збереження хлору є апарат для його випарювання й подачі споживачу в газоподібному стані, установка для компримування й осушки повітря, а також установка для уловлювання хлору з абгазів. У іншому склад хлору за устроєм аналогічний складу аміаку.

7.2.2. Резервуарний парк складів

Резервуари є основним устаткуванням складів. За формою їх виготовляють циліндричними (вертикальними і горизонтальними) і кульовими. За способом установки резервуари можуть бути наземними, напівпідземними і підземними. В неорганічній технології використовують в основному металеві наземні резервуари.

Вертикальні циліндричні резервуари застосовують в основному для збереження великих обсягів рідини. Їх виготовляють місткістю від 50 до 10000 $м^3$ і більш.

Великі резервуари зварюють із декількох царг, товщина яких зменшується вгору, що обумовлено зменшенням гідростатичного тиску. Для сталевих резервуарів, виходячи з умов жорсткості і надійності зварювання, мінімальну товщину листа приймають не менше 4 мм. Корпус резервуарів місткістю до 1000 $м^3$ роблять із листів однакової товщини, тому що розрахункова товщина їх не перевищує 4 мм. Листи одного поясу зварюють у стик, а пояси приварюють один до одного внапуск, телескопічно (рис. 7.11)

Верхній край резервуара обладнаний кільцем жорсткості з кутика або смуги. Дах роблять з ухилом 1:20. Він спирається на сталеві ферми або на двотаврові балки (в залежності від місткості резервуару), а ті, в свою чергу — на край резервуару. Краї даху приварюють до верхнього кільця жорсткості.

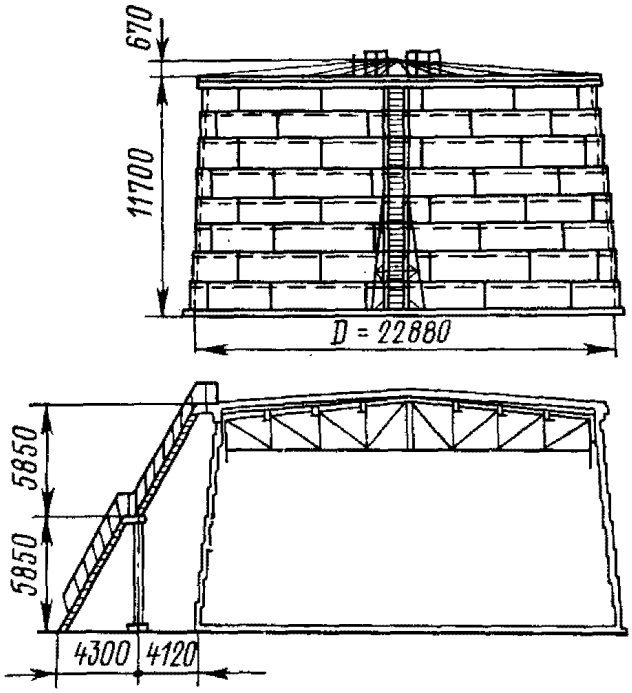


Рис. 7.11. Вертикальний резервуар

Розроблено типові проекти резервуарів з вуглецевої сталі для збереження різноманітних продуктів густиною до 1200 кг/м^3, а також із нержавіючої сталі для збереження агресивних рідин густиною до 1400 кг/м^3 (азотної кислоти, розчинів нітрату амонію).

Сталеві резервуари для збереження неагресивних рідин виготовляють місткістю від 50 до 700 м^3, а для збереження агресивних рідин — місткістю від 50 до 3000 м^3. Останні повинні мати антикорозійний захист (футерівку), навантаження від якої на стінки і днище розраховані на 4900 Па. Температура рідини в цих резервуарах не повинна перевищувати 60 °С, щоб уникнути відшаровування футерівки від стінок резервуара.

Резервуари з нержавіючої сталі мають місткість від 50 до 1000 м^3. Для виготовлення корпусу, внутрішньої оглядальної драбини і майданчика використовують сталь марки 12Х18Н10Т.

У разі потреби корпуси резервуарів теплоізолюють мінераловатними матами, захищеними зовні кожухом з алюмінієвого листа. Максимальна температура продукту в резервуарі не повинна перевищувати 170 °С.

Типовий проект резервуара складається з чотирьох альбомів:

I. Металоконструкції резервуара.

II. Конструкції люків і сходів.

III. Проект виробництва робіт.

IV. Кошториси.

Фундаменти, зовнішні сходи, що обслуговують площадки, антикорозійний захист, теплоізоляцію, оснастку резервуарів розробляє організація, яка виконує прив'язку резервуара до конкретного промислового об'єкту, виходячи з умов експлуатації. Будівництво резервуарів за даними типових проектів допускається в районах із розрахунковою температурою зовнішнього повітря до –40 °С, із сніговим навантаженням до 1470 Па і вітровим навантаженням до 540 Па.

Зазначені вище типові резервуари не завжди придатні для збереження різноманітних хімічних продуктів. Тому часто розробляють індивідуальні проекти, використовувані повторно. Так, сірчану кислоту концентрацією вище 72 % зберігають у вертикальних зварних резервуарах із конічними дахами і плоскими днищами, до яких для посилення приварюють через визначену відстань ряд двутаврів (рис. 7.12).

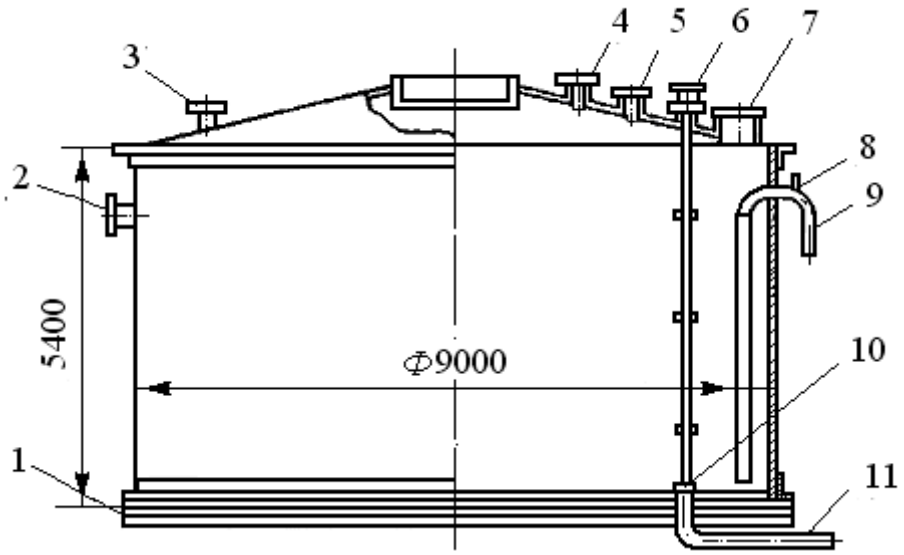


Рис. 7.12. Вертикальний резервуар для збереження сірчаної кислоти: 1 — двутавр; 2 — штуцер для переливної труби; 3, 5 — штуцери для КВП; 4 — повітряник; 6 — запірний устрій; 7 — люк-лаз; 8 —

повітряник сифона; 9 — сифонна труба; 10 — пробка; 11 — дренажний патрубок

Для збереження олеуму й сірчаної кислоти концентрацією нижче 72 % при температурах до 50 °С виготовляють футеровані резервуари.

Горизонтальні циліндричні резервуари (рис. 7.13) виготовляють звичайно в заводських умовах і транспортують на місце монтажу. Вони мають місткість до 200 м^3. Оптимальним вважається відношення довжини до діаметра, рівне 6, товщина корпуса 4—5 мм. При використанні цих резервуарів для збереження помірно агресивних рідин внутрішню їхню поверхню гумують. Горизонтальні резервуари можуть встановлюватися наземно або заглибленими в землю. При наземній установці резервуари спираються на сідловинні опори. Найбільш доцільно встановлювати їх на двох опорах, тому що при більшому числі опор важко забезпечити на них рівномірне навантаження. Проте значні резервуари можуть мати до п'яти опор. Найкращі сталеві опори, які складаються з горизонтального листа (підошви) і вертикальних ребер, що зв’язують підошву із сідлом опори. Ширина кожної опори не менше 300 мм, а центральний кут охоплення резервуара на опорі сідлом не менше 90 ° (до 120 °). У резервуарів, які піддаються значним температурним коливанням, одну опору закріплюють на фундаменті жорстко, а інші встановлюють на ролики (рис. 7.13).

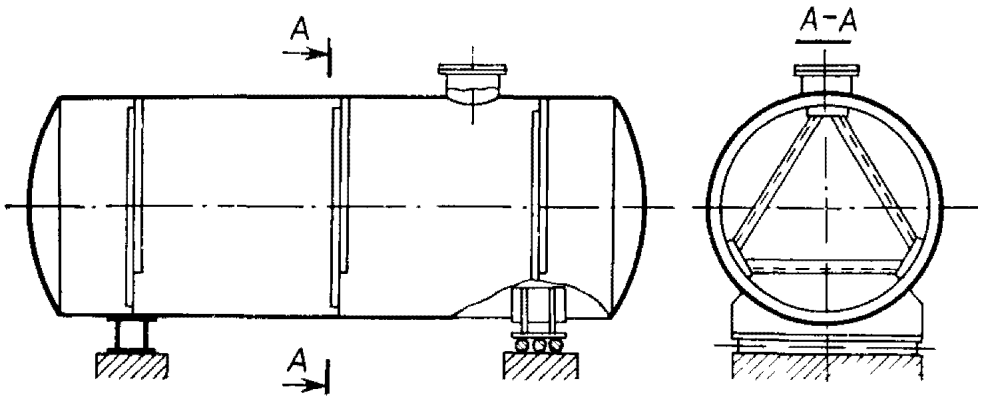


Рис. 7.13. Горизонтальний циліндричний резервуар

Зміцнюють резервуари кільцями жорсткості з кутиків, що розташовуються звичайно над опорами. Кільця жорсткості в апаратах місткістю 50 м^3 і більш посилюють розпірками у формі трикутника (рис. 7.13).

Для збереження великих об'ємів сильноагресивних рідин виготовляють горизонтальні резервуари місткістю до 200 м^3 за індивідуальними проектами. Через необхідність футерування їх діабазовими або метлахськими плитками посилення корпуса кільцями жорсткості з розпірками неможливе. Тому товщина стінок цих резервуарів досягає 20 см.

Скраплені гази (аміак, хлор) також зберігають у горизонтальних резервуарах місткістю від 40 до 200 м^3. Вони мають кульові днища, виготовлені з якісної сталі для котлобудування марок 15К, 16, 16ГС, товщина їхніх стінок розрахована на робочий тиск 1,47 МПа і складає 20—26 мм.

До резервуарів для збереження рідкого хлору пред'являють підвищені вимоги (через його отруйність). Їх піддають гідравлічним випробовуванням не рідше 1 разу в 2 роки (для звичайних посудин у 4—6 років) при тиску в 1,5 разу більше робочого (для звичайних посудин — у 1,25 разу). Щоб не послабляти корпус і забезпечити високу герметичність, усі штуцери намагаються розташувати на кришці люка (рис. 7.14).

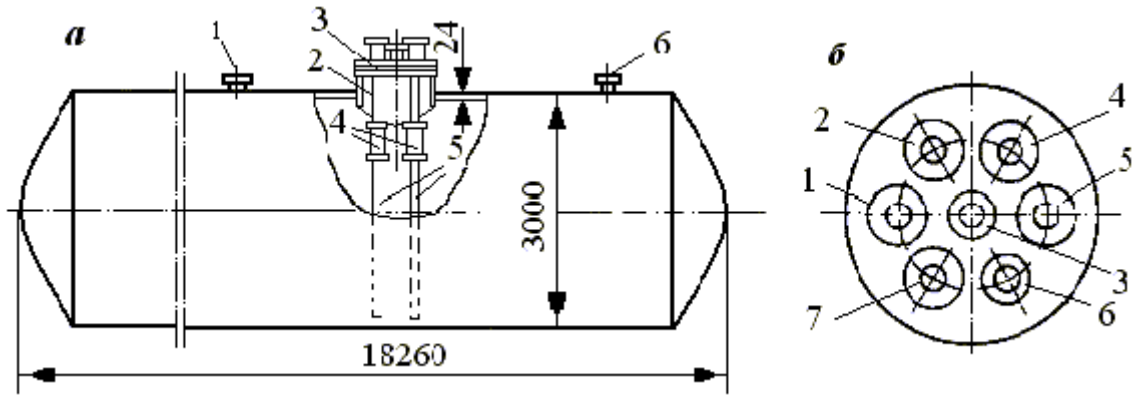


Рис. 7.14. Резервуар для зберігання рідкого хлору: *а* — танк; 1 — штуцер для рівнеміра; 2 — люк; 3 — кришка люка, 4 — швидкісні клапани; 5 — сифони; 6 — штуцер запобіжного клапана, *б* — розташування

штуцерів: 1, 5 — приймальні; 2, 4 — роздавальні; 3 — для манометра; 6 — для підводу стиснутого повітря; 7 — для скидання абгазів

Переваги горизонтальних резервуарів — мала висота, що буває необхідно в проектах багатьох цехів.

Кульові резервуари (рис. 7.15) використовують для збереження легколетких рідин, скраплених вуглеводневих газів і аміаку. Їх виготовляють місткістю від 600 до 4000 м^3. Резервуари обсягом 600 і 900 м^3 розраховані на тиск 1,76 МПа. Товщина їхніх стінок складає відповідно 34 і 38 мм.

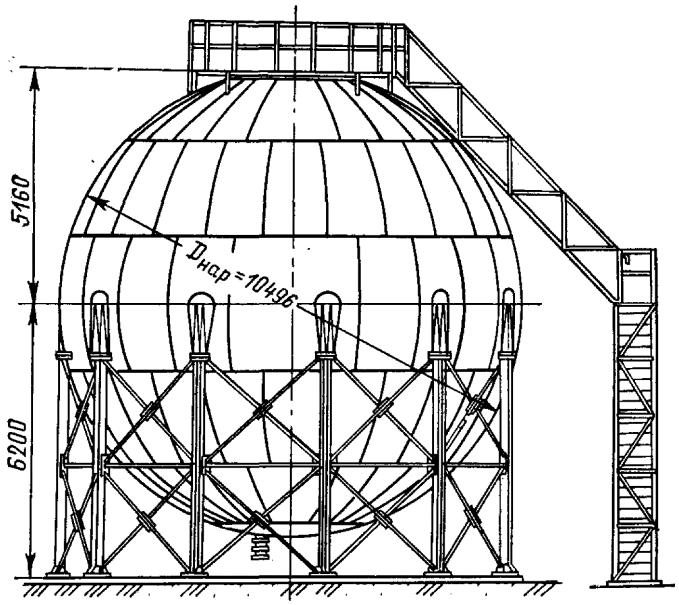


Рис. 7.15. Кульовий резервуар місткістю 600м^3

Кульові резервуари мають значні техніко-економічні переваги перед циліндричними. Вони мають найменшу поверхню на одиниця об'єму і меншої товщини оболонки, тому витрата металу для їхнього виготовлення в 2 рази менша в порівнянні з горизонтальними циліндричними при однакових умовах зберігання.

Устаткування резервуарів має своїм призначенням забезпечувати безпечну експлуатацію, наповнення й випорожнення ємності, замір рівня, відбір проб, чищення і ремонт резервуарів.

Устаткування резервуарів для рідин не стандартизоване і не регламентоване. При його виборі враховують властивості рідин, призначення резервуару й умови його експлуатації.

Вертикальні циліндричні резервуари для розчинів солей установлюють на суцільні залізобетонні фундаменти з антикорозійним покриттям. Резервуари для кислот і лугів розміщують звичайно на високих стовпчастих залізобетонних фундаментах із настилом із двутаврових балок. Прохід між опорами складає біля 1 м. Такі фундаменти дозволяють стежити за станом днищ і зливальних штуцерів і робити їхній ремонт.

Всі резервуари обладнані штуцерами для рівнемірів (для виміру рівня рідини), люками-лазами і повітряниками, необхідними для безперешкодного заповнення й випорожнення ємності. Повітряники резервуарів рідин «що не димлять» сполучені безпосередньо з атмосферою, а резервуарів для рідин, що виділяють шкідливі гази (олеум, соляна, азотна, плавикова кислоти), з'єднані з апаратами для вловлювання газів.

Вертикальні резервуари мають штуцери для переливу продукту в інший резервуар у випадку його переповнювання. Ці штуцери розташовують на висоті, що забезпечує коефіцієнт заповнення ємності 0,9. Кожний резервуар обладнується майданчиком з огородженням, що необхідно для забезпечення безпечного його обслуговування.

Устрій нижніх спусків на великих кислото-сховищах небажаний, тому що пошкодження спускного штуцера в цьому випадку створює серйозну небезпеку. Злив рідини з кислотних резервуарів роблять звичайно через сифонну трубу, засмоктування кислоти, в якій роблять за рахунок вакууму. З горизонтальних резервуарів кислота може відкачуватись також зануреними насосами.

Резервуари для збереження рідин, які замерзають і кристалізуються (сірчана кислота, фосфор, сірка, каустик, розчини солей) обладнують пристроями для обігріву. Обігрів здійснюють за допомогою теплообмінних елементів (змійовиків, напівтруб, кутиків), приварених до зовнішньої поверхні резервуару, або за допомогою внутрішніх підігрівачів, які

виготовляють у вигляді теплообмінників і вкладають на дно резервуару. Рідини, що застигають (що кристалізуються) при низьких температурах найбільш раціонально підігрівати у виносних теплообмінниках.

Для збереження суспензій, які порівняно швидко розшаровуються, застосовують резервуари з мішалками, що можуть бути стаціонарними і переносними.

Устрій резервуарів для скраплених газів регламентований «Правилами устрою і безпеки експлуатації посудин, що працюють під тиском».

Резервуари облаштовані (рис. 7.16) запобіжними клапанами, манометрами, покажчиками рівня рідини, термометрами, люками, сифонами. Сифонні труби доходять до поглиблення (грязевик) у нижній частині резервуара. Заповнення й випорожнення резервуару здійснюють через сифони і приєднані до них вентилі. Випорожнення відбувається під тиском парів скрапленого газу або під тиском осушеного повітря, подаваного в резервуар. Оснащення резервуара сифонами дозволяє продувати всю ємність від залишків газу.

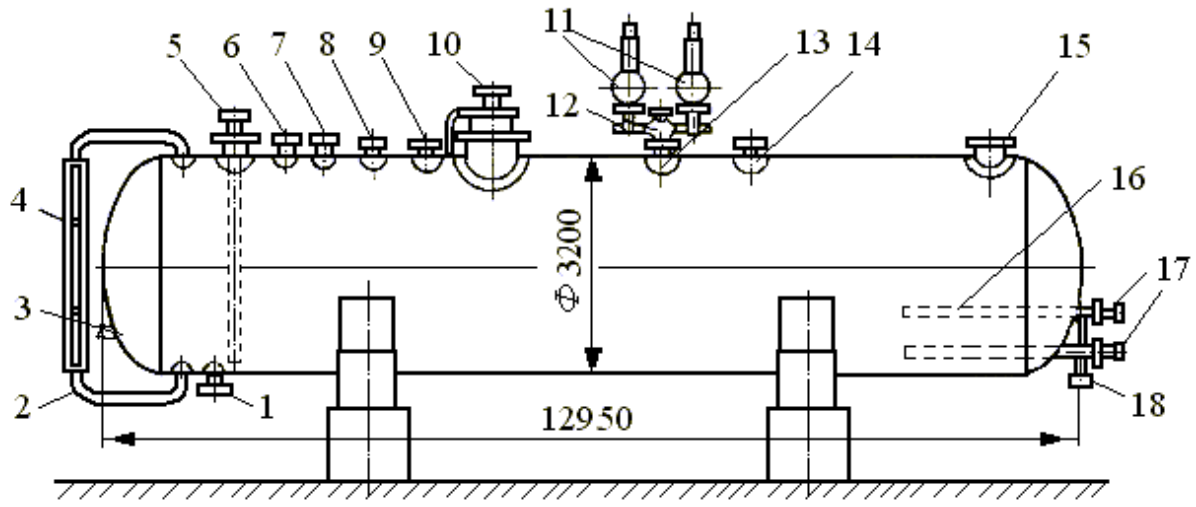


Рис. 7.16. Схема устаткування резервуару для скрапленого аміаку: 1 — дренажний штуцер; 2 — штуцер для покажчика рівня; 3 — кишеня для термометра; 4 — покажчик рівня; 5 — штуцер для сигналізатора рівня; 6 — штуцер для продування; 7 — приймально-роздавальний штуцер; 8 — штуцер для манометра; 9 — штуцер для покажчика рівня; 10 — люк; 11 —

запобіжні клапани; 12, 13 — триходовий кран і штуцер для його встановлення; 14 — штуцер газоподібного аміаку; 15 — резервний штуцер; 16 — нагрівальний пристрій; 17, 18 — штуцери для входу пари й виходу конденсату

Сифони обладнані швидкісними клапанами, установка яких дозволяє припинити подачу зрідженого газу при розриванні трубопроводу. В цьому випадку різко підвищується витікання газу й кулька швидкісного клапану перекриває перетин сифона. Кожний резервуар обладнується двома запобіжними клапанами, призначеними для швидкого видалення газоподібного продукту з резервуару при підвищенні в ньому тиску вище заданого. У випадку агресивного впливу середовища на запобіжні клапани перед останніми встановлюють захисні пластини зі стійкого в даному середовищі матеріалу. При підвищенні тиску в резервуарі пластини руйнуються. Для охорони клапану від застопорювання осколками передбачена установка між пластиною і клапанами захисної посудини. Викиди від захисних клапанів спрямовують у колектор для уловлювання.

7.3. Устаткування для збереження газів

Для збереження газів використовують газгольдери. Вони можуть бути низького тиску, надлишковий тиск газу в яких не перевищує атмосферного, і високого тиску з надлишковим тиском вище атмосферного. Перші діляться на сухі і мокрі.

Газгольдери мокрого типу (рис. 7.17) являють собою металевий дзвін, занурений своєю відкритою частиною в басейн із водою. Під дзвін проведені труби для подачі і витрати газу. В початковий момент дзвін цілком занурений у воду, а при нагнітанні газу висувається з води і вільно плаває в басейні, ковзаючись на направляючих. Висота дзвону визначає висоту басейну. Для великих обсягів газу дзвін роблять складовим, причому окремі ланки його з'єднують герметично за допомогою гідравлічних затворів, висота яких повинна бути більше

внутрішнього надлишкового тиску в газгольдерах. Такі гідравлічні затвори називають «телескопічними кільцями». Товщина сталевих листів дзвону складає 2—3 мм. Листи з'єднують заклепками за допомогою однорідного шва і додатково герметизують.

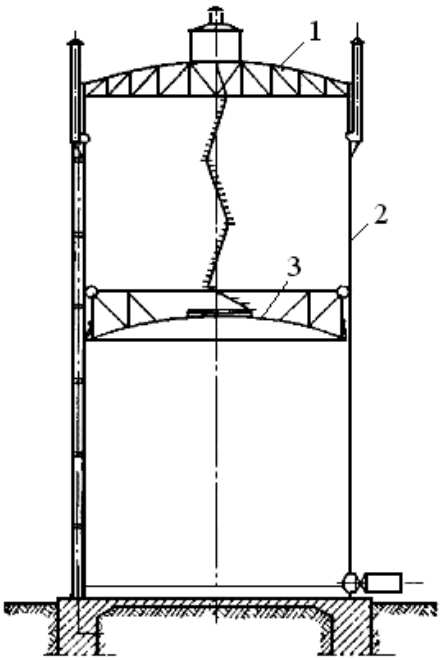


Рис. 7.17. Газгольдер сухого типу: 1 — кришка; 2 — резервуар; 3 — шайба

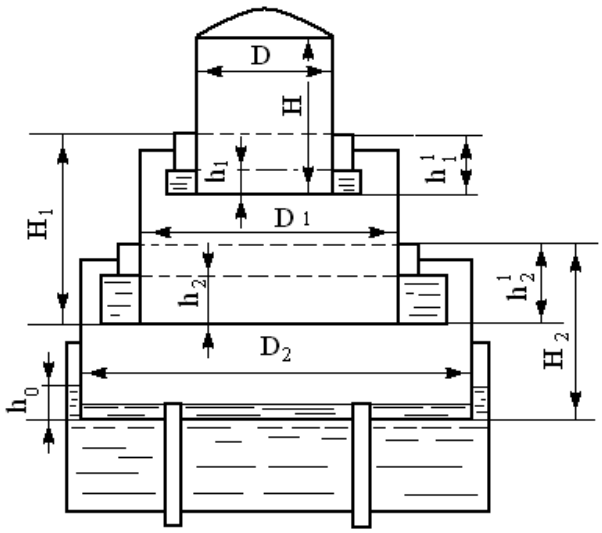


Рис. 7.18. Газгольдер мокрого типу

Газгольдери встановлюють як у спеціальних спорудах, так і на відкритих майданчиках. Будівництво спеціальної споруди значно подорожчує вартість усього спорудження і пов'язане з можливістю вибуху у випадку витоку газу. Тому віддають перевагу встановленню газгольдерів на відкритих майданчиках й у цьому випадку воду в басейні підігрівають гострою парою. Басейни газгольдерів роблять залізними і залізобетонними.

Корисний об’єм трихланкового газгольдера мокрого типу визначають за формулою:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H + \frac{\pi D_1^2}{4}(H_1 - h_1') + \frac{\pi D_2^2}{4}(H_2 - h_2' - h_0).$$

Де D і H — діаметр (м) і висота (м) дзвону; D_1, D_2, H_1, H_2 — відповідно діаметри і висоти 1 — і 2-го телескопів; $h_o = h_n + h_m$; h_m — висота стовпа рідини, що відповідає найбільшому тиску газу в газгольдері, м; h_n — прибавка (2 мм) у розмірі на кожний метр діаметра дзвону, що враховує можливість відхилення осі дзвону при його підйомі, можливі коливання дзеркала води в басейні при вітрі (інші позначення на рис. 7.17).

Газгольдери сухого типу (рис. 7.18) являють собою вертикальний сталевий резервуар 2, виготовлений у вигляді циліндра або призми та облаштований дахом 1. Усередині резервуару розташована шайба 3, яка пересувається вільно по вертикалі. Вона щільно притиснута до стінки корпусу, що змащується мастилом, за допомогою сальникових ущільнювачів.

Ці газгольдери вибухонебезпечні в експлуатації, тому що при проникненні газу в простір перед шайбою можливо утворення вибухової суміші. У них не можна берегти забруднені гази. Тертьові поверхні потребують ретельного оброблювання. Об'єм газгольдерів може досягати 0,5 млн. $м^3$. Використовується для збереження водню і вуглеводнів.

Запитання і вправи для самоконтролю

1. Які існують склади для сипких матеріалів, рідини, газів?
2. Як визначається місткість заглибленого складу?
3. Перелічіть яким устаткуванням оснащують склади?
4. Які групи рідин розрізняють по пожежо- і вибухонебезпечності?
5. Охарактеризуйте принципову схему складу для рідин.
6. Охарактеризуйте принципову схему складу для аміаку.
7. Охарактеризуйте принципову схему ізотермічного складу для аміаку.

8. Якої місткості виготовляють сталеві резервуари?
9. В чому переваги горизонтальних резервуарів?
10. Якими пристроями обладнують резервуари для збереження рідин, що замерзають і кристалізуються (сірчана кислота, фосфор, сірка, каустик, розчини солей)?
11. Яка різниця в конструкціях між сухими і мокрими газгольдерами?

Розділ 8. МОНТАЖ І РЕМОНТ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВОК

8.1. Організація монтажних робіт

Монтаж устаткування на хімічних заводах виконують при будівництві нових об'єктів, реконструкції та ремонті діючих. Для здійснення монтажу необхідні первинна, проміжна (виконавча) документація й документація здачі робіт.

Первинна документація включає проект на монтаж устаткування. Вона потрібна для наново споруджуваного цеху чи заводу, а також при їхній реконструкції.

Основним документом для виконання монтажних робіт є проект виконання робіт (ПВР), який розробляється спеціалізованими (ліцензованими) проектними організаціями. ПВР передбачає черговість виконання підготовчих та загальнооб'єктових робіт, організацію майданчиків для складування та збільшуючого складання, послідовність монтажу, поточність виконання монтажних робіт, безпечність монтажних робіт.

Завдання на розробку ПВР проектній організації видає монтажна організація.

ПВР на особливо складні роботи з монтажу великовагового устаткування підлягає обов'язковій експертизі в уповноважених спеціалізованих організаціях та державних органах.

ПВР включає: копію завдання, відомість документів, пояснювальну записку, відомість обсягів монтажних робіт у вартістному та натуральному виразах, генеральний план монтажних робіт, графіки, технологічні карти, відомість потрібних коштів, матеріалів, енергоресурсів, робочі креслення індивідуальних пристосуваннь, технічні рішення з прокладання тимчасових комунікацій.

Виконавча документація включає: акти і схеми на сховані роботи (опори фундаментів, траншеї, сховані частини споруд і ін.); акти приймання фундаментів під устаткування; акти випробування матеріалів, зварних швів і зібраного устаткування в цілому; виконавчі креслення та схеми, в яких відбиті всі внесені при монтажі зміни конструкції і системи. Документацію підготовляє виконавець — монтажна організація. У складанні деяких актів бере участь і представник споруджуваного підприємства.

Документація здачі робіт включає: первинну документацію; документи, складені на стадії виконання будівельно-монтажних робіт; документи про здачу і приймання устаткування чи об'єкта в цілому в експлуатацію.

Монтажні роботи при будівництві великих об'єктів виконує будівельна організація — генеральний підрядник. Для виконання робіт залучаються й інші організації — субпідрядники (сантехнічні, електромонтажні, із засобів автоматики), які повинні мати, отримані в установленому порядку, дозволи (ліцензії) на виконання відповідних робіт. Ці організації в залежності від габаритів, маси, конструкції і положення апаратів, виду майданчика, на якому здійснюється монтаж апарату, оснащеності механізмами та пристосуваннями виконують роботи індустріальним методом, великими блоками й за місцем.

При індустріальному методі устаткування встановлюють на фундамент у максимально готовому вигляді, тобто коли здійснене повне зварювання устаткування й обслуговуючої його металоконструкції, проведені випробування, нанесена теплова ізоляція, футеровано поверхню, установлені запірна арматура та зроблено монтаж обв'язувального трубопроводу. Цим методом монтують теплообмінники, зрошувальні холодильники.

Складним видом робіт є монтаж вертикальних великогабаритних апаратів (наприклад, контактних апаратів сірчанокислотних виробництв, колонних апаратів виробництв аміаку, карбаміду, азотної кислоти). Їх установлюють з

використанням монтажних щогл, оснащених поліспастами та спеціальними підйомниками.

При монтажі апаратів колонного і баштового типів варто керуватися вказівками “Будівельних норм і правил”.

Найбільш безпечним є підйом апаратів одиночними і спареними кранами з використанням полегшених щогл. У випадку великої насиченості монтажного майданчика великоваговими і великогабаритними апаратами застосовують спеціальні крани. Іноді використовують і вертольоти-крани.

Якщо індустріальний метод не можна застосувати, здійснюють монтаж великими блоками. Постачання блокового устаткування роблять заводи-виготовлювачі. При способі монтажу за місцем зборку окремих деталей і вузлів роблять безпосередньо на монтажному майданчику.

При монтажі транспортні засоби вибирають у залежності від габаритних розмірів і маси устаткування, відстані до монтажного майданчика, наявності залізничних і водних шляхів. Залізничним транспортом на транспортерах зчіпного типу можна перевозити негабаритні апарати довжиною до 34 м і діаметром до 4 м. Ці апарати також перевозять трейлерами на шасі автомобілів МАЗ, КрАЗ, КамАЗ чи водним шляхом.

Особливо важкі апарати переміщують за допомогою тягового поліспасту (рис. 8.1).

Практикується перевезення устаткування і на котках.

Габаритне устаткування (розміри якого не виходять за межі габаритів залізничного рухомого складу) перевозять залізницею без будь-яких обмежень. Якщо колонні апарати габаритні за діаметром, але не за довжиною, тоді їх перевозять частинами.

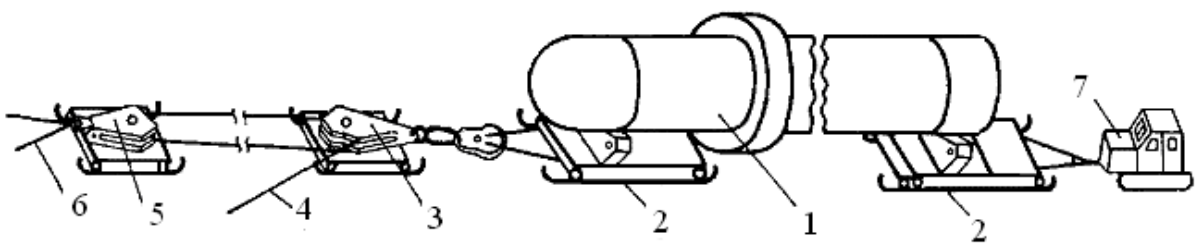


Рис. 8.1. Схема транспортування особливо важких апаратів: 1 — апарат; 2 — полозки; 3, 5 — відповідно рухомий і нерухомий блоки поліспасту; 4 — збігаюча гілка тросу поліспаста; 6 — якірний трос; 7 — направляючий трактор

Циліндричні апарати переміщають прикочуванням за допомогою троса. Устаткування невеликих розмірів перевозять за допомогою самохідних стрілових трубоукладачів.

Навантаження і розвантаження устаткування на залізничних, річкових станціях чи на базах з великим оборотом устаткування роблять стаціонарними кранами (мостові, козлові, портальні) великої вантажопідйомності, на монтажних майданчиках — за допомогою самохідних кранів, спеціальних піднімальних щогл, шеврів, порталів. Широко розповсюджені самохідні автокрани вантажопідйомністю 3—16 т і крани на гусеничному ходу. Однак усі вони обмежені невеликими вантажопідйомністю та стрілою вильоту.

За відсутності вантажопідйомних механізмів розвантаження чи навантаження здійснюють способом накочування або скочування.

Маневреність вантажопідйомних механізмів при монтажі і демонтажі устаткування в діючих цехах дуже обмежена, тому при виборі монтажних засобів треба виходити з можливості їхнього застосування в конкретних умовах. Перед початком монтажних і демонтажних робіт устаткування і всі трубопроводи повинні бути випорожнені, надійно та герметично відділені від демонтуємого апарату. Підземні комунікації (каналізація, трубопроводи й ін.) повинні бути позначені на поверхні майданчика видимими покажчиками.

Територія, на якій проводять роботи, відгороджується чи позначається покажчиками. Складається протокол із проведення робіт. Монтажні і демонтажні роботи проводять тільки за присутності експлуатаційного персоналу.

Для монтажу важких і високих апаратів застосовують щогли (рис. 8.2) вантажопідйомністю до 100 т. З їхньою допомогою можна піднімати апарати на висоту до 100 м.

При монтажі на хімічних заводах застосовують привідні лебідки. Останні мають електричний або пневматичний приводи. Широко поширені самохідні лебідки, установлені на шасі трактора.

Після завершення всіх будівельно-монтажних робіт виконавці готують об'єкт до здачі замовнику. Кожну одиницю устаткування випробовують вхолосту. Ємності й апарати обпресовують, машини і механізми перевіряють на холостому ходу, потім під навантаженням.

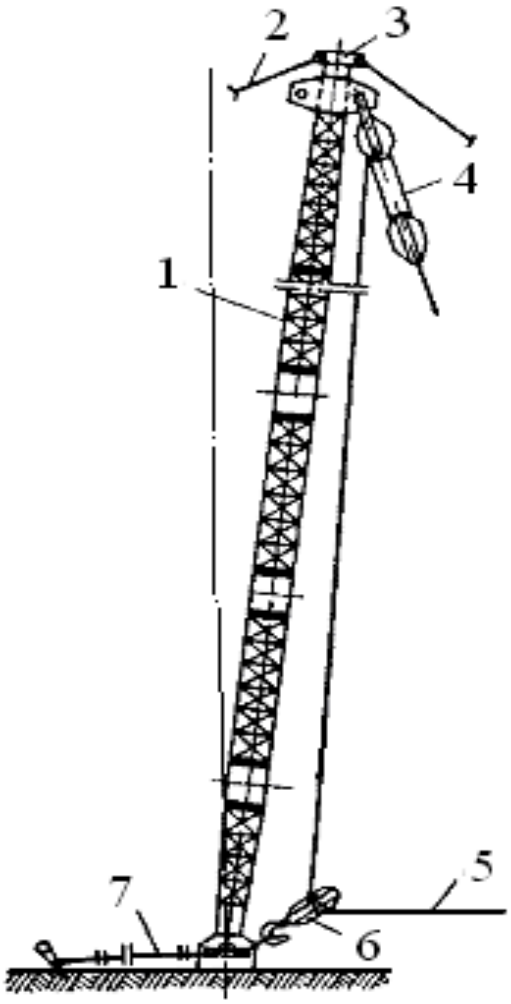


Рис. 8.2. Вантажопідйомна щогла: 1 — ґратчаста щогла; 2 — вант; 3 — павук для кріплення вант; 4 — поліспаст; 5 — гілка поліспаста, що збігає; 6 — відвідний блок; 7 — страхувальний трос

Після усунення зауважень та несправностей за присутності замовника роблять контрольне випробування та складають акт про здачу. Комплексне випробування об'єкта робить замовник, зауваження якого усуваються підрядчиком.

Нижче розглянуті приклади монтажу устаткування, найширше використовуваного у виробництві неорганічних речовин.

Теплообмінні (горизонтальні і вертикальні) апарати встановлюють на фундамент за допомогою кранів. Горизонтальні теплообмінники повіряють за рівнем, а вертикальні — за ухилом, після чого роблять затягування анкерних болтів. Потім здійснюють ревізію: перевіряють стан поверхонь ущільнюючих фланців, чистоту поверхні труб,

відсутність ум'ятин труб і кожуха. Після ревізії теплообмінник піддають гідравлічному випробуванню, по закінченні якого до нього приєднують трубопроводи.

Насоси, компресори, газодувки і вентилятори — подаються заводом в основному в зібраному вигляді разом із приводом; монтують їх після завершення всіх основних будівельних робіт. Крани використовують тільки для подачі устаткування на монтажний майданчик, а подальше його переміщення здійснюють за допомогою котків, лебідок, порталів та триніг з котками. Змонтований агрегат піддають обкатуванню й випробуванню під навантаженням.

Кульові млини надходять від заводів-виготовлювачів окремими вузлами. Їхній монтаж починають з установки загальної рами на фундамент і її вивірки на горизонтальність. Потім установлюють підшипники, барабан, редуктор з електродвигуном. Іспит починають із випробування редуктора, а потім редуктор з'єднують з валом барабана й випробовують млин протягом 2—3 год. без навантаження.

Шнеки надходять на монтажну площадку окремими секціями. Монтаж починають із крайніх секцій. Секції стикують на прокладках, а окремі частини гвинта з'єднують муфтами.

Елеватори в залежності від розмірів надходять у зібраному вигляді чи у вигляді окремих вузлів. Укрупнену зборку роблять безпосередньо на місці установки. Підйом у проектне положення здійснюють за допомогою крана. Монтаж елеваторів блоками ведуть способом нарощування чи підрощування.

8.2. Надійність обладнання та технологічних ліній

Хімічні процеси часто протікають при температурах від 250 до 1000 °С та тиску до 200 МПа, а також у глибокому вакуумі.

В процесі експлуатації відбувається фізичне зношування та моральне старіння устаткування.

Фізичне зношення — це зміна форми, розмірів, цілісності та фізичних властивостей деталей і вузлів.

Моральне старіння — це відставання устаткування від рівня передової техніки, обумовлене низькими продуктивністю й к.к.д., незадовільною якістю продукції, яка випускається, зниженою надійністю.

Фізичне зношення включає механічне, корозійне (суцільна, міжкристалева, хімічна, воднева, ґрунтова, атмосферна й контактна корозія), ерозійне, теплове (повзучість, релаксація, графітизація матеріалу) зношення.

Практика показує, що половина відмов устаткування відбувається через низьку якість технічного обслуговування

Надійність обладнання. Будь-який апарат після виготовлення або ремонту повинен відпрацювати певний час. Недосконалий апарат виходить з ладу раніше строку через недостатню надійність його елементів та передчасне їх зношення. Необхідність і частота ремонтів визначаються надійністю машини або апарату. Надійність — властивість виробу виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в установлених межах протягом необхідного проміжку часу чи встановленого напрацювання. Властивість ця є не тільки якісною. Вона може бути виражена кількісно у вигляді різних показників. Допустимими межами експлуатаційних показників можуть бути певні відхилення від номінального розміру виробу, заданої продуктивності, потужності і т. і.

При розробці обладнання для забезпечення надійності машини необхідно забезпечити надійність кожної її деталі. Для серійного обладнання обов'язкові опрацьовування, створення і випробування дослідних зразків. Оскільки на надійність деталей впливають умови експлуатації, підвищення надійності вимагає отримання інформації від підприємств, що експлуатують обладнання, і аналізу причин виходу з ладу обладнання. Крім того, для визначення надійності використовуються спеціальні прискорені випробування на стендах.

Розробка апарату, що забезпечує підтримку робочих параметрів на оптимальному рівні, ще не приводить до його високої надійності. Необхідна спеціальна оцінка надійності. Слово «оцінка» означає, що точну кількісну міру надійності передбачити не можливо, але її можна оцінити як найбільш вірогідну величину. При цьому для групи апаратів ймовірність безвідмовної роботи може розглядатися як ймовірність безвідмовної роботи тієї частини апаратів, яка чисельно рівна значенню ймовірності, а для одного апарату — як ймовірність його безвідмовної роботи за деякий проміжок часу.

Надійність обладнання закладається на стадіях його проектування, виготовлення і експлуатації.

Основні проблеми забезпечення надійності можуть бути сформульовані таким чином.

1. На стадії проектування — забезпечення однакової міцності всіх деталей машини або апарату, виявлення вузлів і деталей, які зношуються найшвидше, виключення місць концентрації напружень, забезпечення ремонтоздатності машини, розробка запобіжних пристроїв.

2. На стадії виготовлення — використання ефективних засобів зміцнення поверхневих шарів пар, що труться, дотримання точності та чистоти обробки деталей, удосконалення методів контролю виготовлення та складання, підвищення вимог до зварювання й випробування машини, високоякісне виконання обкатки обладнання.

3. На стадії експлуатації — виконання рекомендацій зі змащування, техоглядів, дотримання термінів ремонтів, температурних режимів і т. п.

Вимога надійності впливає на конструкцію машини. При зменшенні числа конструктивних елементів надійність машини збільшується. У машині складної конструкції не вдається добитися рівноміцності всіх деталей. Аналіз надійності при проектуванні можливий за оцінкою надійності типових деталей апаратури, вживаних в аналогічних конструкціях. Такими типовими деталями і вузлами можуть бути вал, шестірня, підшипник кочення або ковзання, сальник, вентиль, муфта і т. ін.

При підвищенні витрат на виготовлення машини з метою підвищення її надійності меншають витрати на ремонт протягом всього терміну служби машини. Сумарні витрати мають деяке мінімальне значення, відповідне оптимальній надійності. Тому необхідно домагатися не просто надійності, а саме оптимальної надійності.

Основні визначення надійності регламентуються ГОСТ 13377 та ГОСТ 27.002.

Працездатність — стан об'єкту, при якому він здатний виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів в межах, встановлених нормативно-технічною документацією.

Непрацездатність — стан об'єкту, при якому значення хоч би одного із заданих параметрів, що характеризує здатність виконувати певні функції, не відповідає вимогам, встановленим нормативно-технічною документацією.

Безвідмовність — властивість об'єкта безупинно зберігати працездатність протягом деякого проміжку часу або деякого напрацювання.

Відмова — подія, яка полягає в порушенні працездатності об'єкту.

Граничний стан — це стан об'єкту, при якому його подальша експлуатація повинна бути припинена через неусувне порушення вимог безпеки, вихід заданих параметрів за встановлені межі, зниження ефективності експлуатації нижче допустимої або, нарешті, необхідність проведення планового ремонту.

Напрацювання — тривалість або об'єм роботи об'єкту.

Технічний ресурс — напрацювання об'єкту від початку експлуатації або її поновлення після капітального ремонту до настання граничного стану.

Довговічність — властивість об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонтів.

Ремонтоздатність — властивість об'єкту, яка криється в пристосуванні до попередження та виявлення причин

виникнення його відмов, пошкоджень та усунення їх наслідків шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування.

Ремонтуємий об'єкт — це об'єкт, справність і працездатність якого у разі виникнення відмови або пошкодження підлягає відновленню.

Неремонтуємий об'єкт — це об'єкт, справність і працездатність якого у разі виникнення відмови або пошкодження не підлягає відновленню.

Приведені визначення показують, що надійність обладнання залежить від якості технічного обслуговування і ремонтів.

Вихід деталей з ладу частіше за все відбувається не через недостатню міцність, а внаслідок зносу робочих поверхонь.

Повторний ресурс, або ж ресурс, що набувається після першого капітального ремонту, не завжди рівний первинному ресурсу — технічному ресурсу нової машини. Основною причиною низького повторного ресурсу є більш низька якість ремонтних робіт в порівнянні з якістю робіт, які виконуються при виготовленні машини на спеціалізованому машинобудівному заводі.

Кількісні показники надійності виражаються у вигляді деяких абсолютних або відносних величин.

Показники надійності можуть бути отримані з розгляду схеми (рис.8.3) станів об'єкту. Відповідно цій класифікації станів об'єкта отримуємо наступні вирази:

1) коефіцієнт технічного використання

$$K_{т.в.} = \frac{T_1}{T_1 + T_{00} + T_{01}};$$

2) коефіцієнт готовності

$$K_г = \frac{T_1}{T_1 + T_{00}};$$

3) коефіцієнт ефективності функціонування обладнання

$$К_{еф} = С_ф/С_т,$$

де $С_ф$, $С_т$ — фактична ефективність і сумарні витрати відповідно, грн;

4) коефіцієнт екстенсивного використання обладнання

$$К_{ек} = Т_{11}/Т;$$

5) коефіцієнт інтенсивного використання обладнання

$$К_{ін} = q_ф/q_т,$$

де $q_ф$, $q_т$ — фактична і теоретична продуктивність відповідно;

6) коефіцієнт інтегрального використання обладнання

$$К_і = К_{ін} \cdot К_{ек}.$$

Рис. 8.3. Схема станів об'єкту

Необхідно відмітити, що зустрічаються різні вирази для розрахунку розглянутих показників, однак наведені вище

співвідношення є відображенням найповнішого аналізу станів об'єкту.

Найчастіше вживається коефіцієнт технічного використання. Для апаратів, експлуатованих на заводах неорганічних виробництв, коефіцієнт технічного використання становить 85—98 %. Нижче представлені значення основних показників надійності теплообмінних апаратів:

Напрацювання на відмову, год.	15000 — 25000
Середній час відновлення, год.	25 — 45
Коефіцієнт технічного використання	0,935 — 0,970
Коефіцієнт готовності	0,975 — 0,999

Джерелами інформації про надійність можуть бути статистичні дані з експлуатації, аналітичні розрахунки, результати прискорених випробувань. Прискорені випробування великогабаритних апаратів вимагають великих витрат і дозволяють отримати дуже наближені показники надійності, тому для визначення надійності великих апаратів прискорені випробування не застосовуються. Аналітичні методи при використанні наближених і усереднених значень різних коефіцієнтів також не дозволяють отримати достовірні дані про надійність. Найбільш точні дані вдається отримати при статистичному аналізі експлуатаційних показників обладнання.

При оцінці надійності й довговічності враховується час роботи обладнання без урахування простоїв, не пов'язаних з його несправностями.

Показником надійності є також інтенсивність відмов або ж кількість відмов обладнання в одиницю часу, віднесена до кількості експлуатованого однотипного обладнання.

Надійність — це не тільки здатність обладнання працювати без аварій протягом певного гарантованого терміну, але і можливість напрацювання певної кількості продукції при усуненні за короткий термін окремих неполадок і аварій. Отже, в поняття надійності входить і поняття ремонтопридатності. Велика кількість конструктивних, технологічних і експлуатаційних чинників, що впливають на надійність, не дозволяють дати точну методику її розрахунку. Однак

розрахунок надійності може бути проведений на основі ймовірнісних статистичних методів з використанням теорії ймовірностей та математичної статистики.

Точно виміряти або передбачити надійність не можливо; її можна тільки приблизно оцінити шляхом спеціально організованих випробувань або збору експлуатаційних даних про відмови. Надійність обладнання, що розробляється з використанням в основному стандартних вузлів, можна оцінити за надійністю цих вузлів.

Надійність — якісна і кількісна властивість виробу, однак надалі будуть братись до уваги лише кількісні її показники, такі як коефіцієнт технічного використання або ймовірність безвідмовної роботи.

Крива інтенсивності відмов деталі в процесі експлуатації, представлена на рис. 8.4. Ділянка I цієї кривої характеризує зміну інтенсивності відмов в період приприпрацювання, ділянка II — інтенсивність відмов в період нормальної роботи, ділянка III — зміна інтенсивності відмов в період підвищеного зношення. Можливі види відмов перераховані нижче.

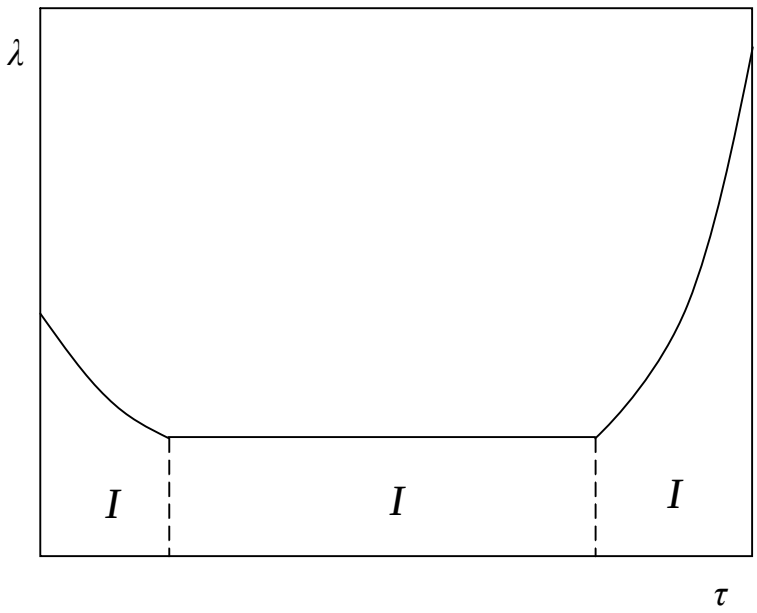


Рис. 8.4. Крива інтенсивності раптових відмов λ деталі

1. Відмови, що мають місце в ранній період експлуатації машини (в період припрацювання). Припрацьовочні відмови є наслідком недосконалості технології виготовлення деталей або неякісного складання та контролю.

2. Раптові відмови — мають місце при раптовій концентрації навантаження, що перевищує розрахункове. Вони виникають випадково, і передбачити їх появу неможливо, але визначити ймовірність випадкових відмов із застосуванням математичного апарату теорії надійності можливо.

3. Відмови, що викликаються зношенням деталей, — є результатом старіння машини. Засобом їх запобігання служать своєчасні огляди, змащування, ремонт та заміна зношених деталей.

Припрацьовочні відмови необхідно виключити шляхом обкатки обладнання.

Раптові відмови можуть статися в будь-який момент часу з рівною ймовірністю. Наприклад, якщо на заводі вступило в роботу 200 відцентрових насосів і інтенсивність відмов складає $A = 0{,}01$ місяць$^{-1}$, то це означає, що від загальної кількості за перший місяць вийде з ладу 0,01 всієї кількості насосів, за другий — 0,01 кількості, що залишилася і т. д. Таким чином, інтенсивність відмов залишається постійною величиною по відношенню до кількості працюючих насосів, а кількість працюючих насосів буде експонентно меншати до нуля.

Для раптових відмов надійність описується експонентним законом:

$$P_{(\tau)} = \exp(-\lambda\tau), \qquad (8.1)$$

де λ — інтенсивність раптових відмов, год$^{-1}$; τ — час роботи, для якого визначається надійність, год.

При малих значеннях добутку $\lambda\tau$ ($\lambda\tau < 0{,}2$) після розкладання в ряд правої частини рівняння (8.1) і зневаги всіма членами ряду крім першого отримуємо:

$$P_{(\tau)} = 1 - \lambda\tau\ . \qquad (8.2)$$

Інтенсивність відмов обладнання пов'язана з ймовірністю його безвідмовної роботи співвідношенням

$$\lambda_{(\tau)} = -\frac{1}{P_{(\tau)}} \cdot \frac{dP_{(\tau)}}{d\tau}.$$

Ймовірність безвідмовної роботи, або кількісна міра надійності, $P_{(\tau)}$ пов'язана з ймовірністю відмов $Q_{(\tau)}$ співвідношенням

$$P + Q = 1.$$

Отже, ймовірність відмов:

$$Q_{(\tau)} = 1 - \exp(-\lambda\tau). \qquad (8.3)$$

Крива ймовірності відмов для періоду часу від 0 до τ буде інтегральною. Крива щільності розподілу ймовірності відмов — диференціальна; вона характеризує інтенсивність відмов в даний момент часу τ, чи в проміжок часу від τ до $\tau + d\tau$ при $d\tau \to 0$.

Щільність розподілу ймовірності відмов для експонентного закону може бути отримана диференціюванням рівняння (8.3):

$$f(\tau) = \lambda\exp(-\lambda\tau).$$

Функція щільності розподілу відмов $f(\tau)$ має важливе значення, оскільки інтегруванням цієї функції визначається ймовірність відмов, а отже, і ймовірність безвідмовної роботи.

Таким чином, для початкового періоду експлуатації виробу (при $\tau = 0$) ймовірність безвідмовної роботи виробу згідно з експонентним законом рівна одиниці, а при нескінченно великому терміні служби виробу ($\tau \to \infty$) ймовірність безвідмовної роботи рівна нулю.

Для періоду підвищеного зношення щільність розподілу ймовірності відмов $f(\tau)$ виражається нормальним законом:

$$f_{(\tau)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\tau - \tau_{ср})^2}{2\sigma^2} \right], \qquad (8.4)$$

де τ — момент часу, для якого розглядається надійність; $\tau_{ср}$ — середня довговічність машини, яка відповідає максимальній щільності розподілу ймовірності відмов; σ — середнє квадратичне відхилення.

Ймовірність безвідмовної роботи, або ж кількісна оцінка надійності, для періоду зношення за час від $\tau = 0$ до $\tau = \tau$ має вигляд:

$$P_{(\tau)} = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau} \exp\left[-\frac{(\tau - \tau_{ср})^2}{2\sigma^2} \right] d\tau. \qquad (8.5)$$

Оскільки крива щільності розподілу відмов [див. рівняння (8.4)] тягнеться від $-\infty$ до $+\infty$ за часом, а насправді обладнання працює від моменту часу $\tau = 0$, то має сенс інтегрування тільки від $\tau = 0$. З урахуванням цього рівняння (8.5) може бути переписано у вигляді:

$$P_{(\tau)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\tau}^{\infty} \exp\left[-\frac{(\tau - \tau_{ср})^2}{2\sigma^2} \right] d\tau \qquad (8.6)$$

Рівняння (8.6) отримано з урахуванням того, що повна площа під кривою щільності розподілу рівна одиниці:

$$\int_{-\infty}^{\tau} f(\tau)d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau)d\tau - \int_{\tau}^{+\infty} f(\tau)d\tau = 1 - \int_{\tau}^{+\infty} f(\tau)d\tau$$

Якщо для експонентного розподілу інтенсивність відмов для будь-якого моменту часу є величиною постійною, то для

нормального розподілу інтенсивність відмов залежить від часу початку експлуатації машини і має максимальне значення в точці, відповідній середній довговічності.

На практиці бажано працювати в області раптових відмов, не доводячи стан обладнання до зношувальних відмов. Для цього застосовуються профілактичні огляди і ремонти. Таким чином, експонентний закон набуває важливого значення для теорії надійності машин.

Крім експонентного і нормального розподілів щільності ймовірності відмов використовуються й інші розподіли — біноминальний, розподіл Пуассона, розподіл Вейбулла і ін.

Наприклад, надійність за розподілом Вейбулла описується законом, схожим на експонентний, але час роботи обладнання зводиться в ступінь α:

$$P_{(\tau)} = \exp(-\lambda\tau^{\alpha})$$

Показник ступеня, визначуваний за дослідними даними, дозволяє описати більш широкий клас кривих розподілу, чим експонентний закон.

Щільність ймовірності відмов за розподілом Вейбулла приймає вигляд:

$$f(\tau)= \alpha\lambda\tau^{\alpha-1} \exp(-\lambda\tau^{\alpha}).$$

У порівнянні з експонентним розподілом тут введений додатковий параметр α. При α = 1 розподіл Вейбулла переходить в експонентний.

Нормальний розподіл і розподіл Вейбулла є двопараметричними — вони залежать від двох параметрів.

Експонентний розподіл є однопараметричним — він залежить від одного параметра λ.

Експонентний закон може бути виражений через середню тривалість роботи об'єкту до відмови $\tau_{ср}$, оскільки

$$\tau_{ср} = 1/ \lambda,$$

то

$$P_{(\tau)} = \exp(-\tau/ \tau_{ср}).$$

Аналогічно, розподіл Вейбулла приймає вигляд:

$$P_{(\tau)} = \exp(-\tau^{\alpha}/ \tau_{ср}).$$

У такому записі всі закони, включаючи нормальний, виражаються через єдиний параметр. Наприклад, рівняння (8.2) приймає вигляд:

$$P_{(\tau)} = 1 - (\tau/ \tau_{ср}).$$

При розрахунку надійності апарату, який розробляється аналізується робота окремих вузлів і деталей.

Інтенсивність відмов (або напрацювання на відмову) будь-якого вузла або деталі залежить від умов експлуатації. Наприклад, у ліній сушки хлористого калію напрацювання на відмову набагато менше, ніж в інших виробництвах, оскільки відмови наступають не через пошкодження апаратів, а внаслідок переповнення циклонів пилом, злипання або заплавлювання солі на решітці печі, зависання матеріалу підвищеної вологості в бункері і т. ін. При цьому відмовою вважається не тільки фізичне зношення апарату але й відхилення показників його роботи (наприклад, продуктивності) за межі допустимих значень. Тому при оцінці надійності необхідна інформація про інтенсивність відмов вузлів і деталей в порівняльних умовах.

Інтенсивність відмов всього апарату є сумою інтенсивностей відмов окремих вузлів. Аналогічно, інтенсивність відмов вузла є сумою інтенсивностей відмов деталей

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \ldots = \sum \lambda_i,$$

а ймовірність безвідмовної роботи апарату або вузла визначається за формулою:

$$P_{(\tau)} = \exp(-\sum \lambda_i).$$

Цей вираз рівнозначний наступному загальному виразу:

$$P_{(\tau)} = P_{1(\tau)} \cdot P_{2(\tau)} \cdot P_{3(\tau)} \cdot \ldots = \prod_{i=1}^{n} P_i(\tau),$$

де n — число деталей в складальній одиниці або число складальних одиниць в машині.

Статистичний аналіз надійності хімічного обладнання показує, що 90 % його працює надійно, а 10 % є малонадійним і має середнє напрацювання на відмову менше за 300 год. У середньому для хімічної промисловості (без урахування особливостей хімічних виробництв) до малонадійного обладнання відносяться наступні апарати: теплообмінники всіх типів — 35,8 %; апарати з мішалками — 25,9 %; ємкісні апарати — 16,4 %; фільтри всіх типів — 8,7 %; колони — 4,2 %; сушарки всіх типів — 3,5 %; інше обладнання — 5,5 %. *У відсотках виражена частка даного типу обладнання в загальному об'ємі малонадійного обладнання.* З наведених даних випливає, що 60 % усього малонадійного обладнання складають теплообмінники та апарати з мішалками. Для цієї групи апаратів характерні наступні причини відмов: корозійне зношення — 64,2 %; прогорання корпусу — 1,7 %; закупорка труб — 3,2 %; руйнування плакуючого шару — 6,0 %; поломка деталей апарату — 11,6 %; зношення деталей приводу — 6,2 %; зношення сальників — 5,5 %; зношення підшипникових вузлів — 5,5 %.

Таким чином, найчастіша причина відмов хімічного обладнання — корозійне зношення.

Надійність технологічних ліній. Особливістю більшості виробництв хімічної промисловості є те, що все обладнання пов'язане в єдину технологічну лінію. Тому питання надійності набувають особливого значення, оскільки вихід з ладу одного апарату загрожує зупинкою всього технологічного ланцюжка.

Для великих апаратів надійність повинна бути вище, оскільки їх простій особливо дорогий. Для апаратів, пов'язаних в

єдиний технологічний ланцюжок, надійність всієї схеми може бути розрахована за надійністю окремих апаратів.

При послідовному з'єднанні апаратів (рис. 8.5) надійність технологічної схеми рівна добутку надійності апаратів:

$$P_{(\tau)} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$$

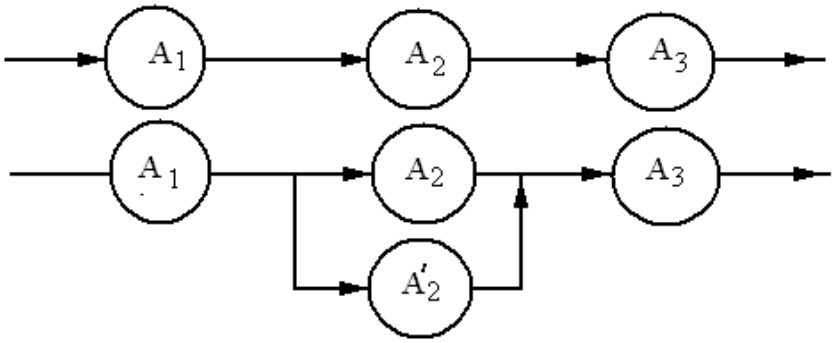


Рис. 8.5. Об'єднання апаратів у технологічну схему

Забезпечення надійності безперервної технологічної лінії методом резервування майже неприйнятний для хімічного обладнання через його великі габарити та високу вартість. Зі всіх видів хімічного обладнання резерв найчастіше передбачається для насосного обладнання.

За наявності резервних апаратів, застосовуючи експонентний розподіл для оцінки надійності, використовуємо тотожність:

$$\exp(-\lambda\tau) \cdot \exp(\lambda\tau) = 1. \qquad (8.7)$$

У рівнянні (8.7) $\exp(-\lambda\tau)$ означає ймовірність безвідмовної роботи, а $\exp(\lambda\tau)$ — ймовірність відмов. Розкладемо $\exp(\lambda\tau)$ в ряд:

$$\exp(\lambda\tau) = 1 + \lambda\tau + \frac{(\lambda\tau)^2}{2!} + \frac{(\lambda\tau)^3}{3!} + \ldots$$

Тепер рівняння (8.7) прийме вигляд:

$$\exp(-\lambda\tau)\cdot\left[1+\lambda\tau+\frac{(\lambda\tau)^2}{2!}+\frac{(\lambda\tau)^3}{3!}+\ldots\right]=1. \qquad (8.8)$$

У рівнянні (8.8) $\exp(-\lambda\tau)\cdot 1$ являє собою ймовірність того, що не станеться жодної відмови, $\exp(-\lambda\tau)\cdot\lambda\tau$ — ймовірність того, що станеться одна відмова, $\exp(-\lambda\tau)\cdot(\lambda\tau)^2/2!$ — імовірність того, що станеться дві відмови, і т. д.

За наявності основного й одного резервного апарату допустима одна відмова, або ж відмова основного апарату, тому ймовірність безвідмовної роботи всього вузла, що складається з основного і резервного апаратів, буде рівна:

$$P_{(\tau)} = \exp(-\lambda\tau)\cdot(1+\lambda\tau). \qquad (8.9)$$

Рівняння (8.9) показує, що не станеться відмови обох апаратів або станеться відмова тільки основного апарату.

Розглянутий спосіб резервування називається ненавантаженим резервом, оскільки резервний апарат включається в роботу тільки після відмови основного апарату. У хімічній промисловості часто використовується принцип навантаженого резерву.

При навантаженому резервуванні резервний апарат весь час працює нарівні з основним апаратом. Практично в роботі знаходяться два апарати. Обидва апарати працюють паралельно, але наполовину своєї максимальної продуктивності, і при відмові одного з них все навантаження переходить на другий апарат, а апарат, який відмовив відключається для проведення ремонту.

Навантажений резерв, як і ненавантажений, дозволяє підвищити надійність вузла. Для навантаженого резерву ймовірність відмови рівна добутку ймовірностей відмов обох апаратів:

$$Q_{(\tau)} = Q_1 \cdot Q_2 .$$

Добуток імовірностей відмов означає, що відмова можлива лише за відмови обох апаратів.

Надійність вузла з двох апаратів, працюючих за способом навантаженого резерву, буде рівна:

$$P_{(\tau)} = 1 — Q_{(\tau)} = 1 — Q_1 \cdot Q_2 .$$

Так, при надійності кожного апарату $P_1 = P_2 = 0{,}9$ надійність всього вузла складе:

$$P_{(\tau)} = 1— 0{,}I^2 = 0{,}99 .$$

Прикладом навантаженого резерву може служити установка двох кип'ятильників на масообмінних колонах безупинної дії. Необхідна продуктивність колони забезпечується одним кип'ятильником. Другий кип'ятильник є резервним і включається в роботу при виході з ладу першого кип'ятильника. Необхідність установки резервного кип'ятильника в цьому випадку пояснюється малим напрацюванням на відмову кип'ятильника в порівнянні з напрацюванням на відмову самої колони.

Навантажений резерв використовується в тих випадках, коли недопустима навіть короткочасна зупинка апарату. Резервування може проводитися для одного апарату, для групи апаратів або для всієї технологічної системи.

На заводах хімічної промисловості звичайно є декілька паралельно працюючих технологічних ланцюжків. Апарати кожного ланцюжка допускають деяке перевантаження. Тому при відмові якого-небудь апарату одного технологічного ланцюжка його навантаження може бути розподілене між подібними апаратами інших ланцюжків. Це дозволяє не зупиняти на ремонт весь технологічний ланцюжок, в якому знаходиться апарат, який відмовив.

Так, у виробництві концентрованої азотної кислоти прямим синтезом працюють паралельно 4—6 технологічних ланцюжків отримання кислоти та виділення із неї оксидів азоту. При

зупинці будь-якого апарату його навантаження розподіляється на аналогічні апарати інших технологічних ланцюжків. Система обв'язки трубопроводів дозволяє здійснювати відключення і заміну апарату, який відмовив.

Однак при ненавантаженому резерві резервний апарат знаходиться в непрацюючому стані й тому зберігає свій технічний ресурс, тоді як при навантаженому резерві технічний ресурс резервного апарату витрачається.

Розглянуті положення теорії надійності машин і апаратів показують, що ремонтна характеристика машини тісно пов'язана з її надійністю. На разі модернізація обладнання, яка підвищує його надійність, здійснюється в період зупинки обладнання на ремонт. Підвищення надійності, а отже, і міжремонтного пробігу досягається удосконаленням конструкції окремих вузлів з використанням нових корозійностійких матеріалів та різних методів зміцнення поверхні деталей.

При модернізації з метою підвищення надійності та довговічності машин удосконалення зазнає деталь, з′єднання деталей або складальна одиниця. Модернізація полягає в проведенні наступних робіт: 1) аналізу причин низької надійності та довговічності деталі, з′єднання або складальної одиниці; 2) вибору методу підвищення надійності; 3) практичного здійснення і експлуатаційної перевірки методу; 4) уточнення або зміни методу з техніко-економічною оцінкою його ефективності.

Підвищення довговічності машин дозволяє досягнути: 1) зменшення простою машин і, отже, підвищення продуктивності; 2) зниження витрат на ремонт, зменшення витрат запчастин та матеріалів, вивільнення металорізального обладнання ремонтних цехів.

Одним із способів підвищення надійності та довговічності є правильний підбір матеріалів. Наприклад, підвищення довговічності багатьох деталей, працюючих при високій температурі, досягається заміною металевих деталей на бетонні або азбоцементні. Футеровка жаростійким бетоном труб-каталізаторопроводів і циклонів установок з киплячим

шаром каталізатора підвищує довговічність цих вузлів більш ніж в два рази.

Клапанні пластини в компресорах працюють довше, якщо вони виготовлені з титану, а не зі сталі. Заміна металевих підшипників на пластмасові дозволяє в 10 раз підвищити довговічність підшипників. При використанні пластмасового підшипника усувається зношення валу, що підвищує ремонтопридатність машини. У вузлах ущільнення заміна шкіряних манжет на манжети, виготовлені на основі поліхлорвінілової смоли, також збільшує термін служби манжет в 10 разів. Підшипники кочення, що встановлюються на валковых машинах, виявляються в 2—3 рази довговічніші за підшипники ковзання.

Для захисту від абразивного зношення та впливу вібрацій доцільне застосування гумометалічних деталей. Наприклад, заміна металевих трубок гідросистем, схильних до вібрації, на гумометалічні шланги помітно підвищує надійність гідросистем. Обладнання з дефіцитних і дорогих матеріалів економічно виправдовується підвищеною надійністю та низькими, експлуатаційними витратами. Для труб із м'яких матеріалів наприклад із титану, заміна приварних кілець відбортовуванням труб підвищує надійність трубних елементів за рахунок усунення зварного шва.

Для хімічної промисловості надійність обладнання завжди пов'язана з властивостями продукту, що переробляється. Так, надійність одного і того ж насоса значно змінюється при перекачуванні різних агресивних рідин. Найчастіше з ладу виходять ущільнення.

Надійність хімічного обладнання залежить не тільки від властивостей середовища, яке переробляється, але і від габаритів апаратури. У хімічній промисловості експлуатуються апарати підвищеної одиничної потужності, простій яких в ремонті приносить великі збитки. При збільшенні габаритів апарату підвищується протяжність зварних швів, зростають площі ущільнюючих поверхонь і т. і. Внаслідок цього збільшується ймовірність відмови апарату. Резерв для апаратів високої

одиничної потужності економічно неефективний, тому до надійності цих апаратів пред'являються підвищені вимоги.

Прикладом підвищення надійності технологічної лінії, здійснюваного в період ремонту, є зміна обв'язки насосів у відділенні пиловловлюючих скруберів. За схемою, що існувала подача зрошуючої води на кожний скрубер здійснювалася своїм насосом. При реконструкції насоси були об'єднані загальним колектором. Така обв'язка насосів підвищила надійність роботи відділення пиловловлювання, оскільки при виході з ладу одного насоса не вийде з ладу жоден із скруберів.

При розрахунках економічної ефективності підвищення надійності діючого обладнання приймається, що додаткові капітальні вкладення окупляться протягом нормативного терміну окупності, прийнятого в хімічній промисловості (5 років).

8.3. Система технічного обслуговування та ремонту

З метою надійної, безпечної та довговічної експлуатації устаткування в хімічній промисловості діє „Система технічного обслуговування й ремонту технологічного та теплоенергетичного устаткування хімічних підприємств Міністерства промисловості України", затверджена 25.04.96. В її основу покладено комплекс організаційних та технічних заходів з обслуговування й ремонту устаткування, які проводяться профілактично за попередньо складеним планом для забезпечення безвідмовної його роботи. Таку систему, як правило, називають системою планово-попереджувальних ремонтів (ППР).

Система ППР слугує для підтримання устаткування в справному стані, попередження аврій устаткування, створення умов для виконання ремонтних робіт за планом, узгодженим з планом виробництва.

Заходи з технічного обслуговування та ремонту кожної одиниці устаткування включаються в графіки ППР, які розробляються щорічно ремонтними службами.

Графіки ППР повинні передбачати: 1) витрати часу на ремонт; 2) витрати робочої сили на ремонт; 3) необхідну кількість запасних частин та пристосувань; 4) модернізацію устаткування.

План ремонту складають з урахуванням міжремонтного циклу для даного устаткування, тобто часу роботи між двома капітальними ремонтами. Для нового обладнання міжремонтним циклом буде період від початку введення цього устаткування в експлуатацію до першого капітального ремонту. Тривалість міжремонтного циклу змінюється в залежності від кількості проведених ремонтів, стану устаткування й якості експлуатації. Існує міжремонтний цикл, який виражається часом між двома ремонтами будь-якої категорії.

ППР передбачає міжремонтне технічне обслуговування, поточний ремонт, капітальний ремонт.

При технічному обслуговуванні перевіряють стан: кріпильних деталей, які витримують динамічне навантаження (шатунних болтів, шпильок і ін.); регулювальних деталей (клинів, затяжних втулок, підшипників) з перевіркою зазорів у них; трансмісій, зубцюватих зачеплень, передатних ременів і ланцюгів, фрикціонів, сальників; мастильної й охолоджувальної систем, картерів, мастильних ванн і маслянок; поверхонь, які кородують та ізоляції.

Поточний ремонт передбачає: заміну частини деталей; часткову чи повну заміну антикорозійних покрить; зміну прокладок в ущільненнях і заміну кріпильних деталей; чищення апарату (наприклад, у відділенні дистиляції содового виробництва); заміну фрикційних гальмових ліній, тросів, ланцюгів; перезаливання підшипників; проточку клапанів і штоків з наступним їхнім притиранням; заміну поршневих кілець; регулювання запобіжних клапанів; заміну чи виправлення несправної арматури; огляд апаратури, яка працює під тиском.

При капітальному ремонті цех цілком зупиняють і здійснюють відбудовні роботи шляхом, наприклад, повного розбирання апарату чи машини й заміни зношених деталей. При цьому устаткування може бути зняте з місця його установки. На капітальний ремонт складають дефектну відомість, кошторис витрат, а також розробляють план організації робіт з урахуванням нормативів ремонту.

В об’єм капітального ремонту входять: заміна зношених деталей і вузлів чи їхнє відновлення з доведенням до монтажних допусків; вивірка, центрування та балансування машин, а за необхідності вивірка станини чи рами й перезаливання їх бетоном; заміна футерівок, каталізатору, відновлення захисних покрить; модернізація агрегату з можливою уніфікацією змінних деталей і вузлів.

На хімічних підприємствах з метою скорочення тривалості ремонту введені індивідуальний, стендовий, секційний, вузловий методи ремонту.

При індивідуальному методі ремонту деталі і вузли, зняті з апарата чи машини й відновлені, встановлюють у той же апарат чи машину. Через тривалий простій устаткування цей вид ремонту не є прогресивним.

Стендовий метод полягає в тому, що апарати чи машини, які підлягають ремонту, переносять на стенд, а на їхнє місце встановлюють аналогічні, нові або раніше відремонтовані апарати чи машини. При такому ремонті скорочуються простої устаткування чи машин, підвищується якість ремонту, з'являється можливість ремонту в денний час. Однак цей метод може бути використаний тільки при ремонті апаратів чи машин невеликих габаритів (насосів, вентиляторів), якщо мається в резерві аналогічне устаткування, і за наявності в цеху широких проходів і проїздів. Метод застосовують в основному при капітальному ремонті.

Секційний метод застосовують для проведення середнього ремонту апаратів і машин, які є в обмеженій кількості, за наявності резервних.

Вузловий ремонт устаткування полягає в тому, що частину машин і апаратів заміняють резервними (раніше відремонтованими, новими чи заготовленими). Його застосовують у випадку, якщо устаткування складається з окремих вузлів і агрегатів, наприклад: для ремонту типових, наявних на заводі у великій кількості моделей; для ремонту транспортного і трубопровідного господарства. Цей метод ремонту дозволяє різко скоротити простій устаткування і використовувати заготовлені в спеціально організованих майстернях окремі вузли таким чином, щоб робота ремонтного персоналу на відкритому майданчику обмежувалася тільки демонтажем і монтажем цих вузлів.

Крім зупинок устаткування на поточний і капітальний ремонт передбачаються планові періодичні зупинки на ремонт устаткування, що не може бути відремонтоване під час роботи цеху (газгольдери, мережі вентиляції і каналізації, трубопроводи й інші апарати великої потужності).

Ступінь централізації ремонтних робіт визначають за формулою:

$$К_ц = Р/Р_о. \qquad (8.10)$$

Де Р — число робітників, що знаходяться в РМЦ; $Р_о$ — загальне число ремонтного персоналу підприємства.

Широко практикується міжзаводська централізація ремонту. Така організація здійснює ремонт на хімічних підприємствах підрядним способом.

Створюються спеціалізовані ремонтні заводи. Ремонт устаткування на таких заводах вигідний, якщо:

$$С_{рем} + Т + М < С_{хим}.$$

Де $С_{рем}$ — собівартість ремонту на спеціалізованому заводі; Т — витрати на транспорт і упакування; М — витрати на монтаж і демонтаж устаткування; $С_{хим}$ — собівартість ремонту в умовах хімічного підприємства.

За наявності на заводах великого числа нетранспортабельного устаткування ремонтні трести більш економічні, чим ремонтні заводи.

Спеціалізовані підприємства (ремонтні трести, управління з ремонту, ремонтні дільниці) здійснюють: 1) виготовлення запасних частин; 2) розробку та підготовку засобів механізації; 3) розробку технології ремонту; 4) створення обмінного фонду устаткування та його окремих вузлів.

За організацією робіт ремонти класифікують:

1. За місцем роботи — ремонт на місці установки машини; ремонт усіх машин у РМЦ; ремонт «кістяка» машин на місці, а вузлів у РМЦ.

2. За обсягом ремонту — подетальний (заміна зношених деталей); повузловий (заміна окремих вузлів); помашинний (заміна всієї машини),

3. За часом робіт — рівномірно розподілений на весь рік; зупинний (під час зупинки); сезонний (ремонт у визначений час року устаткування, встановленого на відкритих майданчиках).

Кожен вид ремонту має свої недоліки та переваги.

В даний час здійснюють удосконалення системи ППР в наступних основних напрямках:

1. Розробка технічно обґрунтованих нормативів міжремонтних пробігів.

2. Удосконалення структури міжремонтних пробігів шляхом застосування зносостійких матеріалів і захисних покрить, що ведуть до збільшення ресурсу виробів.

3. Скорочення часу простою устаткування в ремонті і зниження витрат на ремонт у результаті впровадження вузлового методу ремонту й освоєння робітниками суміжних професій.

Для керування ходом ремонту і монтажу устаткування використовують сіткове планування і управління. Застосування

сіткових графіків дозволяє скорочувати терміни робіт на 20—30 %.

Сіткове планування і керування передбачає: 1) складання й оптимізацію сіткового графіка; 2) оперативне керування.

Складання сіткового графіка на підприємствах здійснює окрема група, що входить до складу РМЦ чи спеціалізованого ремонтного тресту. Основою для створення сіткового графіка служить дефектна відомість.

Оптимізацію ППР здійснюють з метою зменшення витрат. Вони і є критерієм оптимізації. Оптимізації можна піддавати будь-який параметр ППР, тобто структуру ремонтного циклу, графік ППР. Іноді критерієм оптимізації служить простій устаткування в ремонті та трудозатрати.

При оптимізації структури міжремонтного циклу враховують ресурси деталей і складальних одиниць і деталі, близькі за ресурсами, поєднують у групи.

Структура ремонтного циклу оптимальна, якщо при цьому собівартість одиниці продукції за повний термін служби машини мінімальна, тобто при побудові оптимального циклу деякі деталі можуть замінятися раніше терміну служби, що окупається за рахунок зменшення простоїв устаткування в ремонті.

Для хімічних підприємств складання оптимального плану ППР утруднене через те, що установки об'єднані в технологічні лінії, необхідно враховувати зв'язок між зупинками на ремонт різних апаратів. У зв'язку з цим оптимальний план ППР складають для всього підприємства в цілому.

Графік ППР оптимізують в двох напрямках: 1) забезпечення максимального випуску продукції; 2) мінімальне відхилення трудовитрат від оптимального (середнього) значення. При здійсненні оптимізації в першому напрямку не враховують вимоги ремонтних служб, а при оптимізації в другому напрямку не враховують технологію виробництва.

Далі здійснюють оптимізацію виробничої програми підприємства разом із графіком ППР. Оптимальний графік ППР

складають не на рік, а на більш тривалий термін, протягом якого кожна установка проходить ремонтний цикл хоча б один раз на рік.

Між окремими установками можливий наступний зв'язок:

послідовний, при якому зупинка одного апарата вимагає зупинки інших;

рівнобіжний, при якому одночасна зупинка всіх апаратів не обов'язкова;

автономний, при якому установки працюють незалежно одна від одної й їхня зупинка не взаємозалежна.

Розрахунок графіка ППР проводять у наступній послідовності:

1. Задаються термінами початку ремонту окремих апаратів. При цьому час ремонту намагаються розосередити рівномірно. За початок ремонту приймають перший день ремонту.

2. Задаються зрушенням ремонту в часі:

$$t_1 = t_2 + t_0;\ \ t_i = \ t_{i+1} + t_0. \qquad (8.11)$$

Де t_i — термін ремонту і-го апарату; t_{i+1} — термін ремонту (і+1)-го апарату; t_o— зрушення терміну ремонту і-го апарату в порівнянні з терміном ремонту (і+1)-го апарату.

3. Розраховують число n ремонтників, необхідних щодня протягом усього планованого терміну

$$n = \sum_{i=1}^{N} n_i \ . \qquad (8.12)$$

Де N — число апаратів; n_i — число робітників, зайнятих ремонтом і-го апарату.

4. Визначають день, коли потрібно максимальне число робітників для ремонту, і це значення приймають як критерій оптимізації.

Оперативне управління ремонтом здійснюють шляхом використання сіткового графіка. При цьому можливі корегування графіка.

Запитання і вправи для самоконтролю

1. Яка документація потрібна для виконання монтажних робіт?
2. Як вибирають транспортні засоби для виконання монтажних робіт?
3. Можна чи ні проводити монтажні роботи за відсутності експлуатаційного персоналу?
4. Якими способами перевозять особливо важкі апарати?
5. Поясніть суть поняття „надійність”.
6. Як можна оцінити надійність апарату?
7. Перерахуйте показники надійності.
8. До якої групи (за надійністю) відносяться теплообмінники та апарати з мішалками?
9. Яким чином можна підвищити надійність технологічної лінії?
10. Коли метод резервування неприйнятний для підвищення надійності технологічної лінії?
11. Які види робіт слід передбачити у поточному ремонті обладнання?
12. Коли буває вигідним ремонт устаткування на спеціалізованих ремонтних заводах?
13. Який порядок існує при розробці графіку ППР?

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Автомобілі 227
Алюміній 15, 16
Антегміти 18, 19
Апарати
- для відділення пилу й крапель 216
- для мокрого очищення 217, 221
- для промивання осадів 222
- для розділення суспензій 221
- для сухого очищення 217
Бетон 19
Бігуни 148, 149
Вентилятори
- відцентрові 253, 254
- осьві 255
Вентиль 266
Відстійники 81
Вибір майданчика для будівництва 344
Вуглеграфіти 21
Газгольдери 295
Газодувки 162
Газоходи 161
Гранулятори
- барабанні 170, 171
- валкові 170, 173
- гравітаційні 170
- екструзійні 174
- тарільчасті 170, 171, 172
Графітопласти 21
Грохоти
- барабанні 154
- вібраційні 153
- валкові 153
- плоскі 152
- ситиві 153
Димарі 210
- розрахунок 211
Довговічність 30
Документація
- проектна 328, 329
- робоча 265, 337
Дробарки
- валкові 139, 143
- конусні 138, 141
- молоткові 144
- щокові 140
Експертиза проектної документації 340
Елеватор 236
Електрофільтри
- трубчасті 217
Завдання на проектування 349
Засувки 268
Здрібнювання
- способи 134
- ступінь 136
Живильник
- секційний 278
- тарільчатий 277, 278
Ізотермічні сховища 284, 285
Кільця жорсткості 33
Клапан 269

Класифікатори
- багатосекційні 162
- конусні 164, 165
- повітряно-прохідні 168
- рейкові 166
Коефіцієнт
- динамічності 76
- запасу міцності 28
- міцності зварних швів 29
- ослаблення міцності 40
- пульсації 69
- сейсмічний 76
Конвеєр
- гвинтовий 238
- гідравлічний 242
- ковшовий 236
- пластинчастий 234
- стрічковий 231, 232
- шкребковий 235
Компенсатори
Компресори
- відцентрові 257, 259
- поршневі 257
Кран 267
Майданчик для будівництва 344
Межа міцності
- при вигині 12
- при крутінні 12
- при розтягу 12
Межа текучості 36
Міцність механічна 23
Млини
- барабани 145, 146, 155
- кульові 146
- стрижневі 147
- струминні 148
Модуль пружності 18
Момент
- вигинаючий 32, 33, 50
- інерції 35, 51, 55
- крутний 50, 52
- опору 35, 50
Монтаж 297
Надійність
- технологічних ліній 302
Напруженість
- стиснення 62, 63, 66
- вигину 47
- допустима 26, 27
- крутіння 52
- розтягу 62
- стиску 66
Насос
- відцентровий 247, 248, 250
- поршневий 243
- плунжерній 245, 246
- вакуумні 261, 263
Обичайка 31, 33, 34, 39
Опора колонного апарату 63
Оцінка впливів на навколишнє середовище 358
Пальники
- інжекційні 197
- панельні 198
Перегородки фільтрувальні 89
Печі
- з киплячим прошарком 192

- камерні 192, 194
- карбідні 191
- обертові 181
- шахтні 186, 187, 188, 189
Пиловловлювачі 172, 174
- вихрові 173
Прибавка на корозію 28, 31
Проект
- ескізний 333
- робочий 336
Промивка
- методом витиснення128, 129
- методом розведення 128, 129
Резервуари
- вертикальні 296, 187
- горизонтальний 289
- для зберігання хлору 290
- для скрапленого аміаку 293
- кульовий 231
Ремонт
- капітальний 323
- поточний 323
Розрахунок на міцність
- барабанних апаратів 45
- валів мішалок 51
- днищ 36, 37
- кришок 37
- трубних дощок 40
Розрахунок
- на вітрове навантаження 57
- на сейсмічну стійкість 75
Розрахунок
- розмірів димаря 210, 211
- пневмотранспорту 240
- ротора центрифуги 116
Сепарація
- гравітаційно-інерційна 154, 158
Сітали 20
Сита 151
Склади
- бункерні 274, 275
- грейферний 272
- силосні 276
- для зберігання рідких продуктів 280, 281
- для скрапленого аміаку 285
- заглиблений 271, 286
Сплави
- алюмінієві 14
- магнієві 14
- титанові 14
Сталі
- високолеговані 11, 14
- вуглецеві 11
- жароміцні 16
- жаростійкі 16
- леговані 11
- низьколеговані 11
- теплостійкі 16
Стійкість корозійна 17
ТЕО інвестицій 333, 350
Температура
- допустима 23
- робоча 23
- розрахункова 23
Тиск
- допустимий 24

- пробний 25
- робочий 23
- розрахунковий 23
Транспорт
- автомобільний 227
- водний 227
- залізничний 224
- конвеєрний 231
- пневматичний 240
Трубопроводи 202
- грубного газу 202
- мазуту 205
- печей 202
- сірки 208
- фосфору 209
Устаткування
- для гранулювання 134
- для здрібнювання 134, 138
- для фракційного поділу 157
- складів 271
- резервуарів 293
Фільтри
- барабанні 90
- дискові 93
- листові 96
- карусельні 92
- нучт 99, 100
- пластинчаті 207
- рукавні 170
Фільтр-преси 95
Форсунки 195, 205
Центрифуги
- вертикальні 101
- горизонтальні 102, 109, 111, 112
- маятникові 101, 103
- осаджувальні 102, 106, 115
- підвісні 101, 106, 108
- пульсуючі 102, 112, 113
- фільтруючі 102
Циклони 241
Цистерни 225
Чавун
- ковкий 18
- кременистий 18
Шнек 238
Щогла монтажна 298

Наукове видання

Волошин Микола Дмитрович
Шестозуб Анатолій Борисович
Гуляєв Віталій Михайлович

УСТАТКУВАННЯ ГАЛУЗІ І ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ

Підручник

Підписано до друку 20.05.2004. Формат 60×84 1/16
Папір друк. Друк – різограф. Ум.-друк. арк. 17,23
Облік. вид. арк.– 16,53. Тираж – 300. Зам. № 941

Ціна договірна.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців серія ДК № 1349

Друкарня
51918, Дніпродзержинськ,
ДДТУ, вул. Дніпробудівська, 2