

Міністерство освіти та науки України
Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)
Кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Конструкція та розрахунок колошникових пристроїв доменної
печі

Виконав: магістрант групи 8.1332

Баландін В.М.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

-

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

Металургійне обладнання

(шифр і назва)

Керівник Таратута К.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Гречаний О.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 рік

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні .Кафедра металургійного обладнання .Рівень вищої освіти магістр .

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування .

(шифр і назва)

Спеціалізація - .

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Металургійне обладнання .

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А.О. Власов

“ _____ ” _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ**ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА**Баландін Віталій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Конструкція та розрахунок колошникових пристроїв доменної печі.

керівник магістерської роботи: доцент, канд. техн. наук Таратута К.В.

затверджені наказом вищого навчального закладу: від “09.10. 2023 року

№ 1581 – с.

2. Термін подання студентом роботи 30.11.2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи доменної печі.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд обладнання доменної печі та методики дослідження колошникових пристроїв. 2. Опис та розрахунок привода маневрування конусами. 3. Дослідження гідроциліндрів маневрування конусами завантажувального пристрою доменної печі. 4. Охорона праці та техногенна безпеки. Висновки та рекомендації.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Креслення загального виду – 1 шт ; 2. Складальні креслення - 3 шт; 3. Креслення та плакати дослідницької частини – 1 шт.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		Завдання прийняв
1	Таратута К.В., к.т.н., доцент	
2	Таратута К.В., к.т.н., доцент	
3	Таратута К.В., к.т.н., доцент	
4	Таратута К.В., к.т.н., доцент	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Збір матеріалу до кваліфікаційної роботи	01.09.2022 – 01.11.2022	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань кваліфікаційної роботи	01.11.2022 – 01.02.2023	
3	Виконання теоретичної частини кваліфікаційної роботи	01.02.2023 – 01.04.2023	
4	Виконання графічної частини кваліфікаційної роботи	01.04.2023 – 01.06.2023	
5	Написання та оформлення кваліфікаційної роботи	01.06.2023 – 01.10.2023	
6	Перевірка кваліфікаційної роботи консультантами	01.10.2023 – 20.10.2023	
7	Попередній захист кваліфікаційної роботи	20.11.2023	
8	Переплітання роботи	05.12.2023	
9	Захист проекту у ЕК	Згідно з графіком	

Студент _____
(підпис)

Баландін В.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____
(підпис)

К.В. Таратута
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Баландін В.М. Конструкція та розрахунок колошникових пристроїв доменної печі.

Випускна кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник К.В. Таратута. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра металургійного обладнання, 2023.

В роботі проведено огляд і аналіз конструкцій конусних завантажувальних пристроїв доменних печей. Проведено розрахунки навантажень, що діють на елементи гідромеханічного приводу завантажувального пристрою. Досліджено роботу елементів вертикального силового гідроциліндра.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРИВОД, ГІДРОЦИЛІНДР, ДОМЕННА ПІЧ

ABSTRACT

Balandin V.M. Design and calculation of furnace blast furnace devices.

Graduation qualification work for obtaining a master's degree in specialty 133 - Industrial Engineering, supervisor K.V. Taratuta. Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute. Department of Metallurgical Equipment, 2023.

In the work, a review and analysis of the designs of conical loading devices of blast furnaces was carried out. Calculations of the loads acting on the elements of the hydromechanical drive of the loading device have been carried out. The operation of the elements of the vertical power hydraulic cylinder was studied.

KEY WORDS: DRIVE, HYDRAULIC CYLINDER, FURNACE

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Огляд обладнання доменної печі та методики дослідження колошникових пристроїв	8
1.1. Загальна характеристика доменних печей	8
1.2. Огляд та аналіз конструкцій колошникових пристроїв доменних печей	15
1.3 Аналіз існуючих типів приводів для маневрування конусами	24
2. Опис та розрахунок привода маневрування конусами	32
2.1 Вибір та обґрунтування прийнятої конструкції приводу для маневрування конусами	32
2.2 Розрахунок елементів конусного завантажувального пристрою доменної печі	37
2.3. Технологія монтажу колошникових пристроїв доменної печі	58
3 Дослідження гідроциліндрів маневрування конусами завантажувального пристрою доменної печі	63
3.1 Визначення вихідних параметрів та граничних умов	63
3.2 Дослідження напружень у гідроциліндрі з використанням імітаційного моделювання у програмному середовищі SolidWorks	67
4. Охорона праці та техногенна безпека	72
Висновки	84
Список використаної літератури	85
Додатки	87

ВСТУП

Актуальність теми.

Основним елементом доменної печі є колошникові пристрої. Колошникові пристрої доменних печей мають багато різновидів, що визначає різноманітність конструкцій печей та технологічних процесів.

У світовій практиці до найпоширеніших модифікацій колошникових завантажувальних пристроїв відносяться конусні завантажувальні пристрої, що суміщують одночасно функції герметичного газового затвора та конусного розподільника шихт на колошнику доменної печі та безконусні завантажувальні пристрої з лотковим розподільником шихти.

До основних вузлів конусних завантажувальних пристроїв входить приймальна воронка, розподільник шихти, газоуцільнювальні клапани, великий та малий конуси з системою приводів.

Устаткування по управлінню конусами здійснює підймання та опускання конусів. До найбільш розповсюджених відносяться схеми управління конусами з гідроприводом. має ряд переваг перед канатним звичайним приводом. Великий конус відкривається примусово гідроциліндром, а закривається контрвантажем. Малі конуси (верхній та середній) відкриваються вільно, а закриваються примусово гідроциліндром.

Швидкість маневрування конусами, їхнє прискорення та уповільнення в крайніх положеннях можна регулювати, забезпечуючи плавне закриття. Змінюючи швидкість опускання конусів, використовуючи при цьому регулюючі дроселі, можна одночасно поліпшити розподіл шихти на колошнику

Найбільш навантаженим елементом приводу є силовий гідроциліндр. В магістерській роботі проведено дослідження гідроприводу управління конусами.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи полягає в проведенні розрахунків та досліджень, та розробка пропозицій що дозволяють підвищити

працездатність гідроциліндрів управління конусами доменної печі.

В роботі поставлено такі завдання:

- 1 Аналіз конструкцій колошникових пристроїв.
- 2 Розрахунок гідравлічного приводу.
- 3 Дослідження силового гідроциліндру.
- 4 Удосконалення діючої конструкції елементів приводу.

Об'єкт дослідження – привод колошникового пристрою управління конусами доменної печі.

Предмет дослідження – дослідження напружень в елементах гідроприводу приводу управління конусами.

Методи дослідження включають комп'ютерне моделювання навантажень, що діють на деталі приводу, обробку результатів досліджень.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені дослідження дають змогу у комплексі розв'язувати проблему підвищення несучої здатності гідравлічного приводу.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів Інженерного навчально-наукового інституту ЗНУ (Запоріжжя, ЗНУ, 2023 р.). Опубліковано 1 тези доповіді на тему: Організація та планування технічного обслуговування та ремонтних робіт завантажувального пристрою доменної печі.

Структура та обсяг роботи. Магістерська випускна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи становить 98 сторінки, 23 таблиці, 29 рисунків, списку використаних джерел, додатків.

1. Огляд обладнання доменної печі та методики дослідження колошникових пристроїв

1.1 Загальна характеристика доменних печей

Доменна піч – це плавильний агрегат шахтного типу безперервної дії, в якому всі теплообмінні, плавильні та відновні процеси здійснюються в потоці що рухається назустріч один одному кускових матеріалів шихти й відновлювальних газів. Агрегати можуть відрізнятися обсягами робочого простору, рівнем продуктивності та розмірами, але в цілому у них всіх ідентична конструкція. [1, 3]

Для металургійного підприємства основною вихідною сировиною є: залізна руда, добута на рудниках, що пройшла попередню обробку й збагачення, кам'яне вугілля, флюси, добути в кар'єрах й оброблені.

Виробництво чавуну можливо поділити на 2 основні частини: підготовка шихтових матеріалів до доменної плавки й, власно, виплавка в доменній печі.

Шихтовими матеріалами доменної плавки є залізовмісні матеріали (агломерат, руда, окатиші, металлодобавки), кокс, флюси.

Показники якості залізовмісних матеріалів: зміст заліза, склад й властивості порожньої породи, зміст шкідливих домішок, хімічний склад, відновлюваність, кусковатість, міцність, пористість і вологість.

Руди, як правило, збагачують, одержуючи при цьому тонко здрібнений залізорудний концентрат, що разом з малокусковими й пилоподібними рудами піддають усередненню, а потім окусковуванню, з одержанням агломерату або окатишів. У доменній плавці використовують агломерат крупністю 5 – 50 мм, а окатиші 10 – 15 мм, об'ємна маса агломерату й окатишів становить відповідно 1,6 – 1,7 й 2,1 – 2,2 т/м³. Окусковування сприяє газопроникності стовпа шихтових матеріалів у доменній печі, поліпшенню відбудовної здатності газового потоку, рівному ходу печі, зменшенню витрати палива, тиску сірки. У результаті окусковування значно збільшує продуктивність доменної печі, скорочує витрати коксу, при цьому зростають якісні показники

чавуну.

Для ведення доменної плавки використовують кокс, що є паливом і відновлювачем. Якість коксу визначається хімічним складом і фізико-механічними властивостями й залежить від властивостей вихідних вугілів і технології коксування. Кокс повинен мати шматки не менше 20 – 40 мм. Об'ємна маса коксу 0,43 – 0,48 т/м³, кут природного откосу 35 – 40°.

Флюси, що застосовують в доменній плавці, служать для ошлаковування золи коксу й одержання жидкорухомих шлаків з високою сіркопоглинальною здатністю. Як флюси звичайно застосовують вапняки. Флюси містяться в офлюсованному агломераті й окатишах. Флюси можна вводити безпосередньо в доменну піч. Залежно від способу введення флюсів у плавку, до них висувають різні вимоги по міцності й кусковатості. Так для агломерації необхідний дрібний, а для доменної плавки - кусковатий і високоміцний.

Потрапляючи в доменну піч, шихтові матеріали по мірі по шахті доменної печі, піддаються під впливом гарячих відбудовних газів істотним змінам. З матеріалів повністю відділяються летючі речовини: волога, гідратна вода, вуглекислота й, у меншій мері, інші речовини. Відновлюються окисли металів: заліза, марганцю, фосфору, кремнію, сірки.

До повного відновлення всього заліза й до помітного відновлення інших елементів починається шлакоутворення - з'єднання окислів деяких елементів у більш складні комплекси, що утворять при взаємному розчиненні шлаки, що стікає вниз і міняє при цьому свій склад. Зміна складу шлаків відбувається в результаті розчинення в ньому твердих компонентів і відновлення деяких елементів з окислів, що перебувають у первинному шлаку. Остаточний склад шлаків встановлюється нижче рівня фурм, після приєднання до нього золи пального, відновленого заліза, марганцю, кремнію, фосфору з окислів і переходу значної частини сірки в шлаки.

На рівні фурм різні елементи окисляються киснем дуття. Спочатку згоряє вуглець коксу у вуглекислий газ й окис вуглецю.

Важливі перетворення, що відбуваються в доменній печі, є фізико-

хімічними процесами й підкоряються законам хімії.

Основною продукцією доменної плавки є чавун, що випускає в доменному цеху. Чавун ділиться на передільний і ливарний. Передільний чавун іде на переробку в сталь, а ливарний для одержання литих деталей. Також до продуктів доменної плавки відносять одержувані після випуску чавуну шлаки й доменний (колошниковий) газ. Шлаки після переробки йдуть на різні будівельні матеріали. Колошниковий газ після очищення використовують як паливо в цехах металургійних підприємств.

Основними показниками, що характеризують роботу доменної печі, є: продуктивність в одиницю часу й витрата коксу на тонну виплавляемого чавуну.

Домене виробництво в Україні функціонує на наступних підприємствах: Маріупольському металургійному комбінаті ім. Ілліча, м. Маріуполь; Металургійному комбінаті «Азовсталі», м. Маріуполь; Металургійному комбінаті «Запоріжсталь», м. Запоріжжя; «АрселорМиттал Кривой Рог», м. Кривий ріг; Дніпропетровському металургійному заводі ім. Петровського, м. Дніпро; Дніпровському металургійному комбінаті, м. Кропивницький; Алчевському металургійному комбінаті, м. Алчевськ; Донецькому металургійному заводі, м. Донецьк.

Доменний цех рис. 1.1 включає в себе декілька доменних печей 10, відділення прийомних бункерів 5 і коксовий силос 4, систему подачі шихти до завантажувального пристрою печі: скіповим яму 7, підйомник 8 з машинним будівлею 9, ливарний двір 13, повітрянагрівачі 17, повітровідвідні станцію 19, систему газоочистки 16, а склад холодного чавуну, системи доменної грануляції шлаку, а також відділення приготування вогнетривких мас і ремонту чавуновозних ковшів.

Доменний цех має склад шихтових матеріалів з вагоноперекидачем 1 і перезагрузочними кранами 2, який укладає матеріал в штабелі 3, бункерну естакаду з машинами періодичної дії - перезагрузочними вагонами 6 і вагон-вагами, скіповим систему завантаження матеріалу в піч 8. Ливарний двір 13

має стаціонарні жолоби для збирання чавуну та шлаку. Чавун розливають у чавуновозні ковші 14, а шлак - в шлаковозів 15. Чавун надходить до розливних машин 18, а шлак на установку грануляції шлаку.

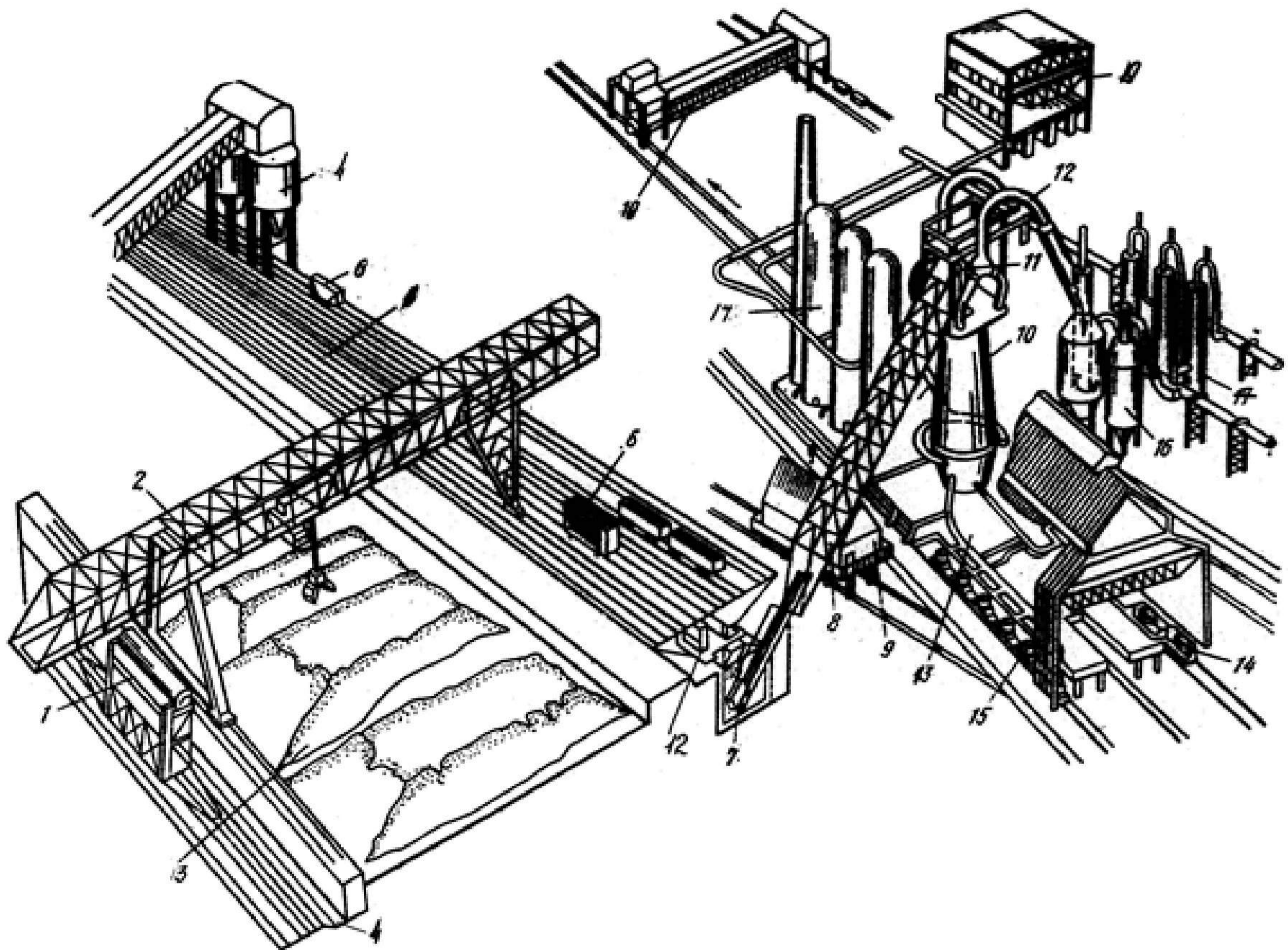


Рисунок 1.1 Обладнання доменного цеху

Доменна піч є потужним і високопродуктивним агрегатом для одержання чавуну. Доменна піч – агрегат шахтного типу (рис.1.2). Зверху в піч порціями безупинно завантажують шихтові матеріали – агломерат (окатиші) і кокс, які повільно опускаються вниз; тривалість їх перебування в печі становить 4-6 год. [1, 2]

У нижню частину печі (верх горна) через фурми подають дуття – нагріте повітря; у фурм за рахунок кисню дуття згоряє кокс із виділенням тепла, а гарячі продукти згоряння рухаються через стовп шихти нагору, нагріваючи її; час перебування газів у печі становить 3-12 с.

При опусканні шихти, що нагрівається, у ній з оксидів відновлюється залізо, яке навуглицьовується, розплавляється й краплями стікає у горн,

формуючи чавун, а оксиди, що не відновилися, в нижній частині печі (низ шахти, розпар) плавляться, утворюючи шлак, який також стікає у горн. Чавун і шлаки, що накопичуються в горні, з температурою 1450-1500° С періодично випускають через чавунні й шлакові льотки.

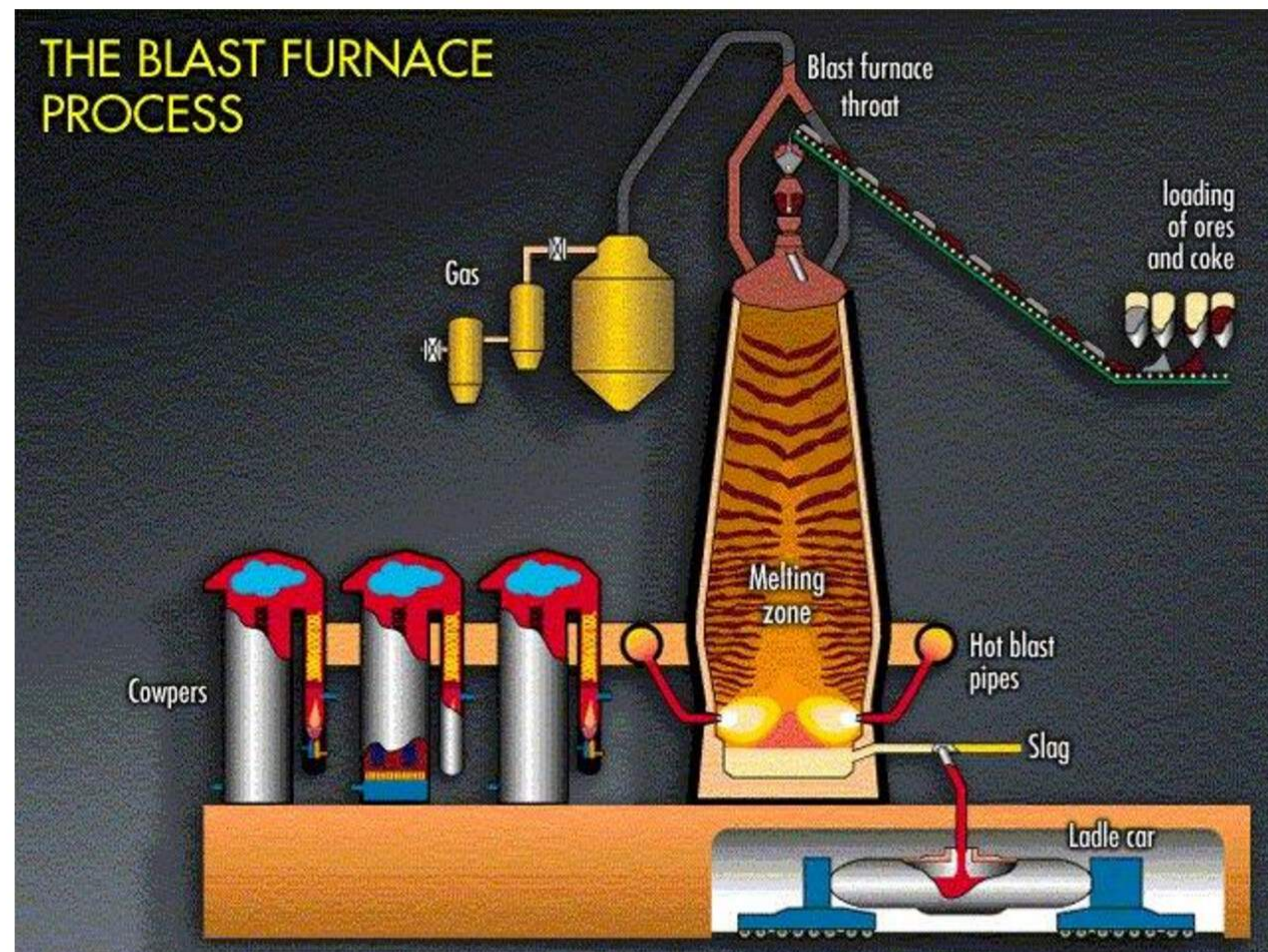


Рисунок 1.2 Обладнання доменної печі

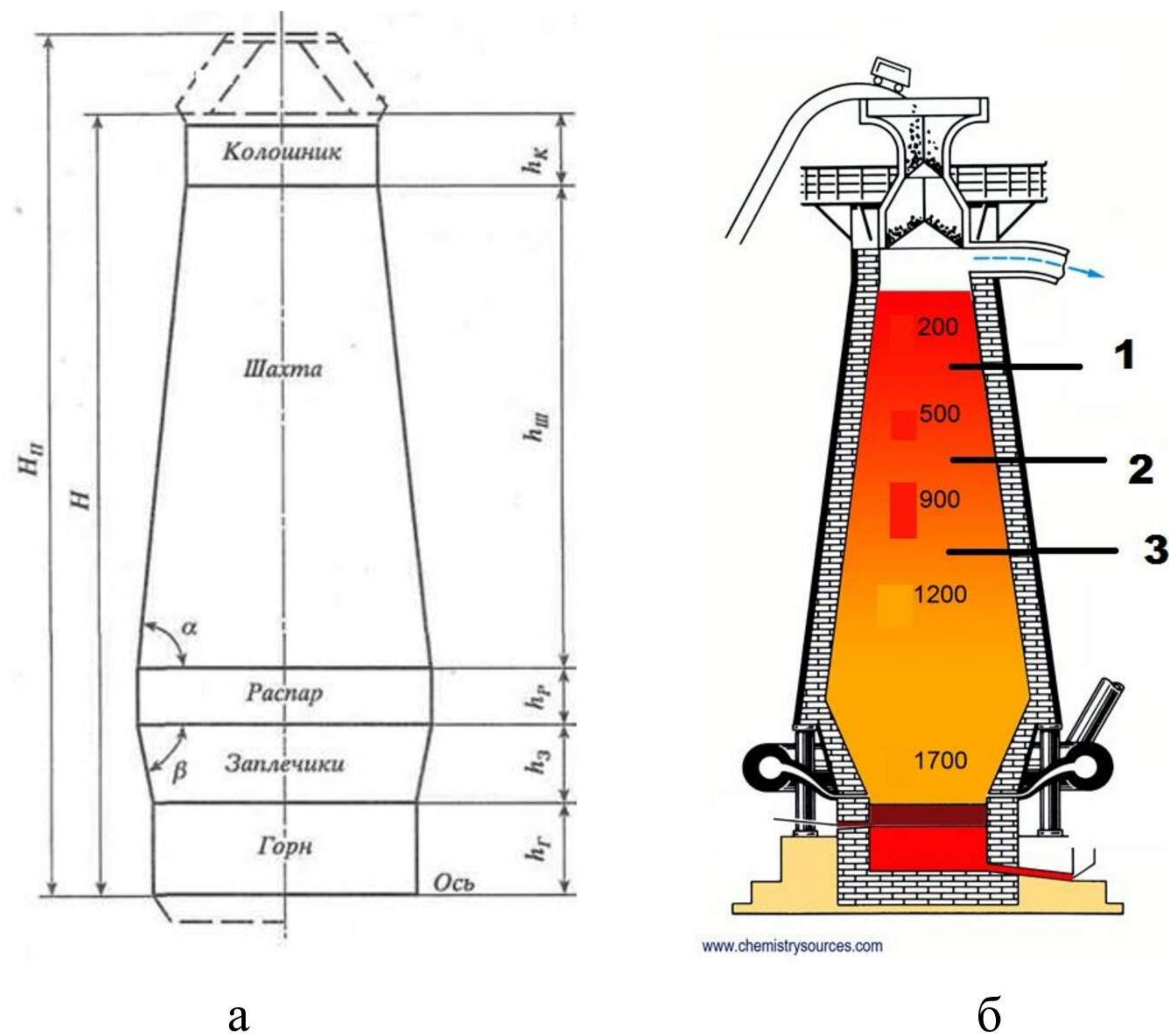
До основних елементів доменної печі відносяться: колошник, шахта, распар, заплечики, горн (рис.1.3).

Колошник - це верхній елемент, який служить для завантаження сировини (шихти) і відведення відпрацьованих газів. Головна частина колошника – засипної агрегат. На печах застарілої конструкції апарати для засипки шихти двуконусний. Між засипками обидва конуса прикриті. Сучасні домни обладнано безконусними завантажувальними пристроями.

Шахта займає більшу частину пічного простору. Конструкція, що розширюється донизу, являє собою усічений конус. Завдяки цьому подача шихти відбувається рівномірно. Доменна піч – спорудження вертикальне і досить високе. Це необхідно для забезпечення хім- і термообробки сировини нагрітими газами.

Распар - елемент у формі циліндра розташований в середній частині робочої доменної зони. Для распара характерний найбільший діаметр.

Призначення конструкції – збільшення пічного простору і ліквідація непотрібного сировини. Тут утворюється порожня порода.



а - профіль доменної печі, б – структура розподілу температур у шахті печі

Рисунок 1.3 Схема доменної печі

Запечки - скорочений конусоподібний варіант распара – усічений компонент звернений широкою частиною вгору. За допомогою запічок знижують обсяг виплавленої шихти при виробництві чавуну.

Горн - основна частина, в якій і відбувається виплавка металів. Тут горить кокс і утворюється газ, накопичується шлак і чавун і відбувається регулярний випуск рідкого металу з конструкції. Складається горн з фурменної зони і металоприймальника. Через фурми, за допомогою нагрівача і кільцевого воздуховода, в піч надходить гаряче повітря. Він необхідний для горіння палива. Дно металоприймальника називається лещадь.

Внизу горна знаходяться шлакові і чавунні льотки – отвори, через які проходить розплавлений метал. Після випуску чавуну отвір закривають за допомогою поршневого механізму вогнестійкістю масою.

Таблиця 1.1 Основні розміри доменних печей

Параметр	Корисний об'єм печі, м ³			
	1033	2002	3200	5500
Висота, м:				
повна H_n	28,75	32,36	35,29	41,0
корисна H	26,0	29,4	32,13	34,8
горна h_2	3,2	3,6	3,9	5,7
заплечиків h_3	3,0	3,0	3,4	3,7
розпару h_p	2,0	1,7	2,3	2,0
шахти $h_{ш}$	15,0	18,2	19,6	20,4
колошника h_k	2,8	2,9	2,99	3,0
Діаметр, м:				
горна D_2	7,2	9,75	12,0	15,1
розпару D_p	8,2	10,9	13,1	16,5
колошника D_k	5,8	7,3	8,9	11,2

Розглянемо конструкцію доменної печі на прикладі Металургійному комбінаті «Запоріжсталь». До складу доменного цеху металургійного комбінату «Запоріжсталь» входять наступні об'єкти: доменна піч №1 корисним об'ємом $V_n = 3000 \text{ м}^3$; доменна піч №2 корисним об'ємом $V_n = 2000 \text{ м}^3$; доменна піч №3 корисним об'ємом $V_n = 2015 \text{ м}^3$; доменна піч №4 корисним об'ємом $V_n = 3000 \text{ м}^3$; пічна ділянка; ділянка шихтоподачі; ділянка розливних машин; центральні витяжні станції №1,3; електростанції №1,2; відділення приготування вогнетривких мас; депо ремонту чавуновозних ковшів; склад холодного чавуну; рудний двір; адміністративно-побутові корпуси.

Доменні печі мають острівне розташування. Блок повітрянагрівачів на доменній печі №2 розташований поруч з піччю, а на доменних печах №1,4-окремо стоять блоками. Ділянка шихтоподачі розташований уздовж фронту печей з шлакової боку.

1.2. Огляд та аналіз конструкцій колошникових пристроїв доменних печей

Колошниковий пристрій призначається для прийому шихтових матеріалів (руда, агломерати, скрап, кокс, вапно та інше), що подається на колошник скіповим підйомником чи стрічковим конвеєром, їх завантаження і розподілення, вимірювання рівня і профілю шихти, а також відведення шихтового газу із печі.

У світовій практиці до найпоширеніших модифікацій завантажувальних пристроїв відносяться конусні завантажувальні пристрої, що суміщують одночасно функції герметичного газового затвора та конусного розподільника шихт на колошнику доменної печі та безконусні завантажувальні пристрої з лотковим розподільником шихти [1, 2].

Розглянемо конструкцію стандартного двоконусного завантажувального пристрою доменної печі (рис. 1.4).

У склад колошникового пристрою входять наступні складові: завантажувальний пристрій, вимірювач рівня шихти, газовідводи з клапанами, вантажопідйомне обладнання для монтажу і ремонту механізмів та пристроїв і несучі металеві конструкції. Система механізмів завантаження шихтових матеріалів у доменну піч, що оснащена двоконусним завантажувальним пристроєм з балансірним електроприводом, функціонує наступним чином [4].

Шихтові матеріали висипаються із скіпів 31 і попадають у приймальну воронку завантажувального пристрою 12, яка направляє ці матеріали у воронку розподільника шихти 11, що спирається на ролики 10, і закриту нижнім малим конусом 9 (місткість воронки розподільника відповідає місткості скіпа). Після повороту воронки з шихтою і випуску газів із міжконусного простору через газопровід 26 і зрівнювальний клапан малого конуса. Малий конус опускається і шихта висипається у засипний апарат, що має чашу 5 великого конуса і великий конус 3. Корисна місткість засипного апарата вибирається таким чином, щоб вмістити всю подачу, що складається

із декількох скіпів (як правило чотири скіпи). Після набору повної подачі (чи напівподачі) великий конус опускається і шихта висипається у піч. Але перед опусканням великого конуса тиск газу у міжконусному просторі вирівнюється до його тиску у печі (різниця цих тисків не повинна перевищувати 0,01-0,22 МПа). Від руйнування вогнетривкої футеровки шахта печі захищена сталевими сегментами 1, що футеровані вогнетривкою глиною.

Чаша 5 засипного апарата установлена на колошниковому фланці 6, що жорстко закріплений на зварному кожусі 2 шахти печі. На верхній фланець чаші спирається нижній фланець газового затвора 7. Сам газовий затвор має чотири люки для огляду та ремонту міжконусного простору і монтажний люк 8.

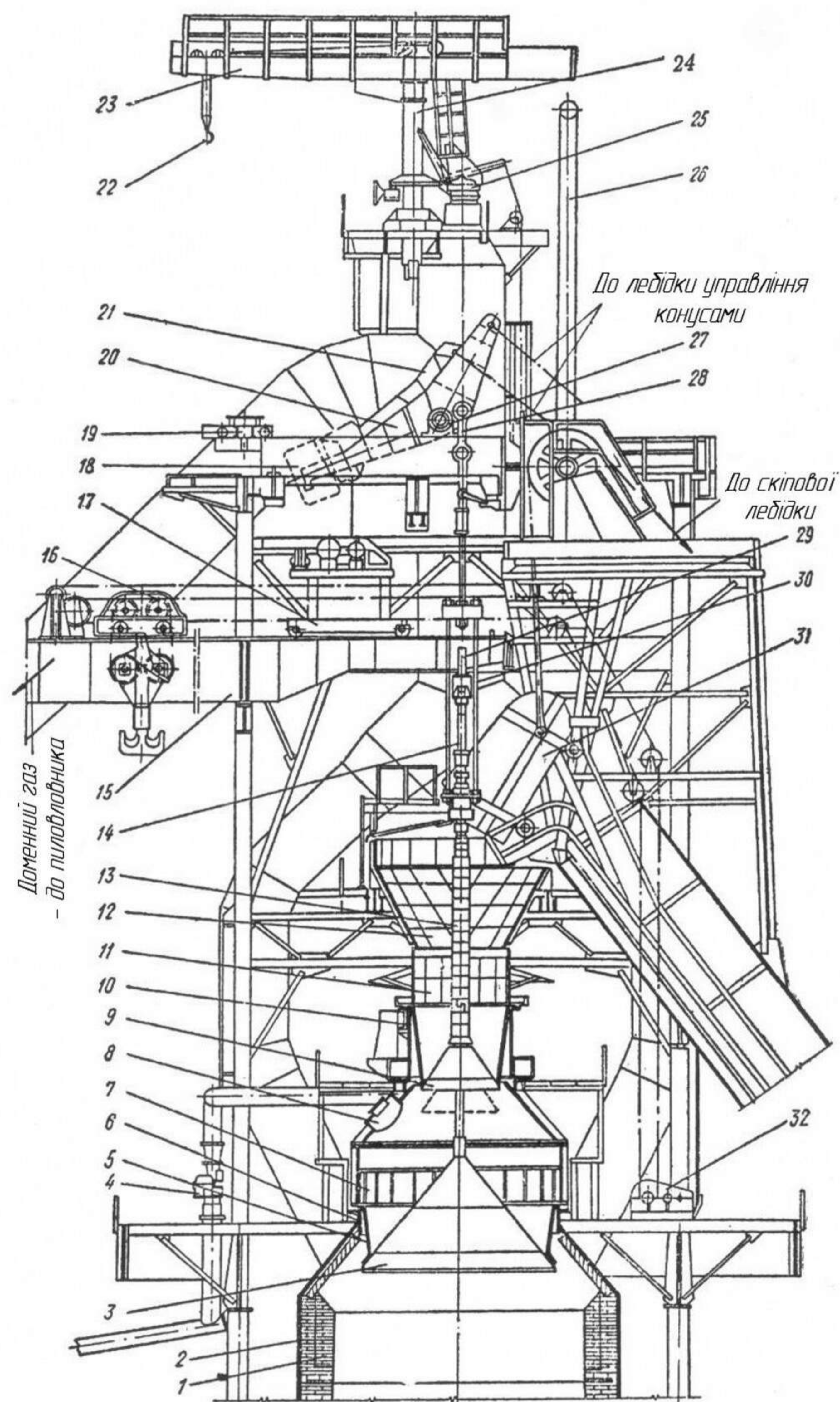


Рисунок 1.4 Колошниковий пристрій доменної печі конусного типу

Малий і великий конуси за допомогою штанг 13, 14, підвісок 29 і 30 і прямильних пристроїв 28 підвішені до коротких плечей балансирів великого 20 і малого 21 конусів, які можуть обертатись на певний кут навколо осі 27. До коротких плечей балансирів приєднані також канати, що йдуть до лебідки, яка розташована у машинній залі. На двох плечах балансирів закріпленні контр-вантажі 18 великого і малого конусів.

Балансири корпусів спираються на копер. Для укладання балансирів при ремонтах, коли зняті конуси і канати, слугує опорний візок 19. Для монтажу і демонтажу завантажувального пристрою використовують монтажну балку 15, що розташована з протилежного боку від мосту, по якій за допомогою лебідки 32 і канатів пересувається монтажний візок 16 вантажопідйомністю від 60 до 170 т.

На великих доменних печах на монтажній балці встановлюється ще і козловий кран 17 вантажопідйомністю 15 т. Монтажна ж балка спирається на копер і пилоуловлювач.

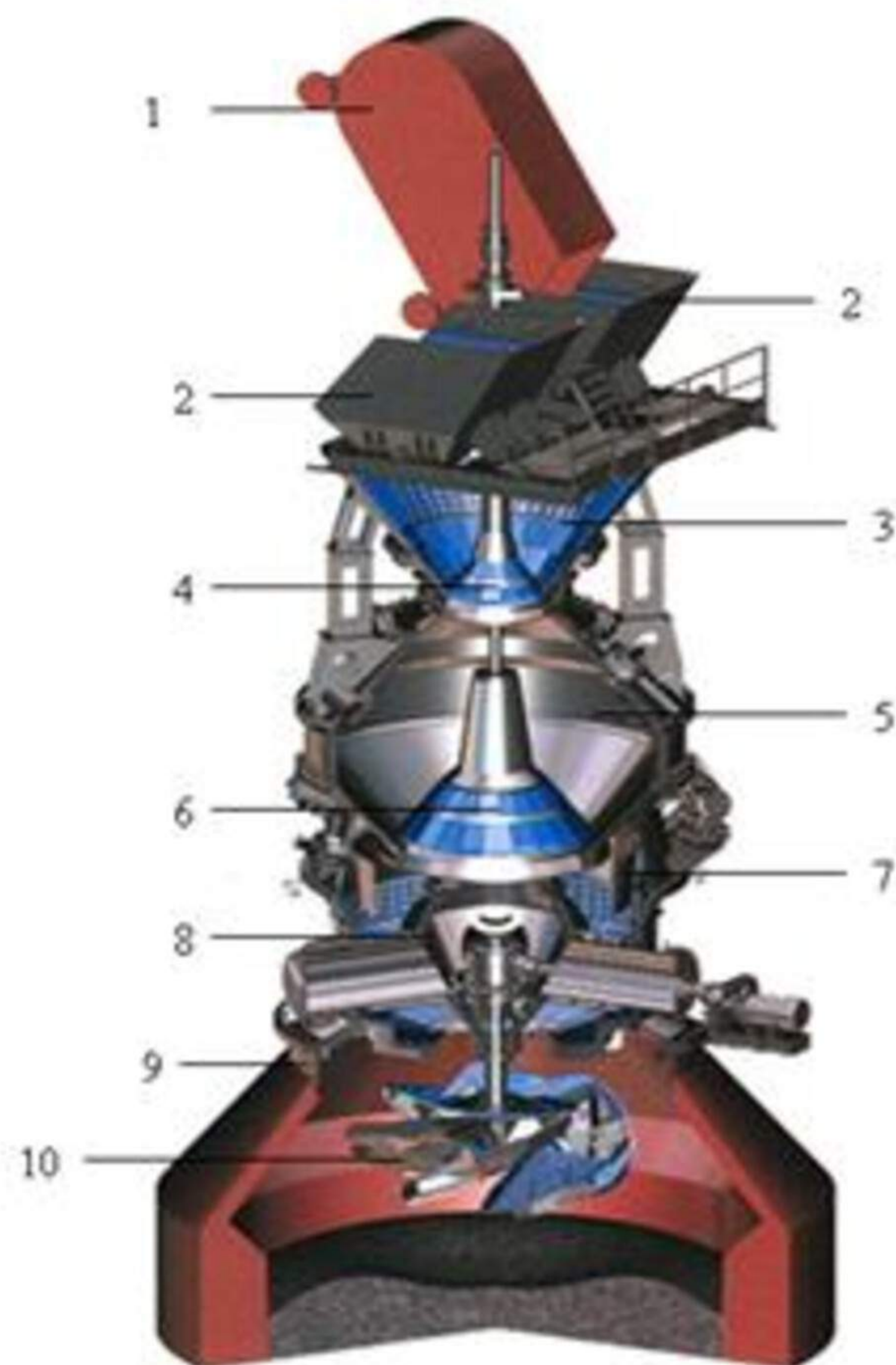
Консольно-поворотний кран 23 з гаком 22 встановлений на поворотній колоні 24 і слугує для заміни атмосферних клапанів (свічок) 25, шківів скіпового підйомника і іншого обладнання. Його вантажопідйомність може складати 5-10 т.

Все обладнання змонтоване на металоконструкції з майданчиками для його обслуговування і ремонту. Особливу роль при цьому відіграє монтажний візок, що пересувається по монтажній балці і виконує цілу низку відповідальних операцій. Тому перед розглядом монтажних робіт доцільно ознайомитись з існуючими конструкціями цих візків.

Одним з різновидів конусного завантажувального пристрою є конусний завантажувальний пристрій з роторним розподільником шихтових матеріалів (рис. 1.5).

За допомогою роторного завантажувального пристрою (РЗУ) забезпечується висока окружна рівномірність шихти, гнучке і ефективно регулювання розподілу матеріалів по радіусу печі. Досвід експлуатації (РЗУ

було встановлено на Бхілайском металургійному заводі, Індія) показав, що в результаті використання даного пристрою відбувається приріст виробництва чавуну на 4,3-6,7% і економія коксу - 4,1-4,4% [13]. РЗУ є сучасним завантажувальним пристроєм нового покоління. Головною відмінністю цього пристрою є наявність в ньому роторного розподільника шихти, основний робочий орган якого розташовується всередині печі і виконаний у вигляді п'ятилопастного гвинта - ротора. Загальний вигляд РЗУ показаний на рисунку 1.5.



1 - скіп; 2 - напрямні воронки; 3 - приймальня воронка; 4 - малий конус; 5 - проміжний бункер; 6 - великий конус; 7 - коригуючий кільце; 8 - камера редуктора; 9 - колошниковим фланець; 10 - роторний розподільник

Рисунок 1.5 Загальний вид роторного завантажувального пристрою

До складу РЗУ входять верхній і нижній конуси, п'ятилопастий ротор і його привід, приймальна і спрямовуюча воронки, проміжний бункер з коригувальним кільцем, система охолодження і змащення та автоматизована

система управління (АСУ) «РОТОР». РЗУ встановлюється безпосередньо на колошниковий фланець доменної печі. За своїми висотними габаритами РЗУ не перевищує габаритів звичайного двоконусного апарату. Тому при його установці на діючих печах не потрібно реконструкція купольної частини печі, копра і верху похилого мосту, а також не губиться корисний об'єм печі.

Порядок роботи РЗУ в частині прийому і шлюзування шихти аналогічні двоконусному апарату. При відкриванні нижнього конуса шихта надходить в порожнину корпусу приводу ротора і через кільцеву щілину, утворену горловиною воронки і нижньої циліндричної частиною камери кутового редуктора, надходить на п'ять лопатей ротора. На поверхні лопатей відбувається формування п'яти потоків шихтових матеріалів, які, рівномірно розподіляючись по колу, утворюють на колошнику кільцевий гребінь з пологими схилами. Суть нової концепції завантаження, яка реалізується роторним розподільником шихти, полягає в «м'якому» віяловому і багат шаровому укладанні шихтових матеріалів на колошник доменної печі [13]. У відомих ЗУ (двоконусних або лоткового типу) матеріал рухається по похилій поверхні робочого органу розподільника прямолінійно в радіальному напрямку і далі скидається в піч, набуваючи до моменту падіння на поверхню засипу досить високу кінетичну енергію. В результаті під час вивантаження матеріалів в піч відбувається деформація нижчих шарів і важко контролювана зміна розподілу матеріалів.

В РЗУ характер руху матеріалу по похилих поверхнях роторного розподільника докорінно відрізняється від руху матеріалу по конусу і по лотку. Матеріал рухається по лопатям ротора непрямолінійно, а в досить широкому діапазоні криволінійних траєкторій, що залежать від швидкості обертання ротора і виду матеріалу, що завантажуються. Розсипаючись по поверхні лопаті, матеріал сходить з неї широким віялом, причому у значної частини потоку превалює не радіальна, а тангенціальна складова швидкості. При віяловому завантаженні істотно знижується кінетична енергія матеріалів при їх падінні на поверхню засипу, що дозволяє здійснювати так звану «м'яку»

завантаження, при якій виключається деформація нижчих шарів. Профіль засипу при цьому має відносно малі кути укосу, тим самим обмежується пересипання матеріалів і сегрегація їх по крупності. При зміні швидкості ротора гребінь матеріалів може бути переміщений з одної кільцевої зони колошника в іншу плавно, без різких переломів профілю, що дозволяє також плавно змінювати навантаження по радіусу печі. Завдяки наявності п'яти лопатей при одному обороті ротора на колошнику утворюється п'ять шарів матеріалу, а за час вивантаження однієї порції укладається в середньому 30-40 шарів матеріалу. Багатопотокове багат шарове завантаження шихти є іншою важливою відмітною ознакою нової концепції завантаження доменної печі роторними завантажувальними пристроями. Вона дозволяє істотно поліпшити рівномірність завантаження в окружному напрямку; крім того, відбувається усереднення матеріалів, що вивантажуються з проміжного бункера, як за хімічним, так і гранулометричним складом. Радіус кільцевого гребеня залежить від швидкості і напрямку обертання ротора. При обертанні ротора в напрямку нахилу лопатей завантажуються периферійна і середня зони колошника, при обертанні в зворотному напрямку - центральна частина.

Тепер розглянемо трьохконусний засипний апарат доменної печі (зображення наведено на кресленнях у додатку). На заводі Запоріжсталь встановлене трьох конусне засипне устаткування (ТЗУ). Установка трьохконусного засипного устаткування мала на меті збільшити термін служби апаратів і ліквідувати пов'язані із цією заміною простої між капітальними ремонтами другого розряду, для чого з описуваної конструкції тиску газу над більшим конусом підтримується рівним тиску колошникових газів доменної печі в плинні всього періоду його роботи. Таким чином, великий конус і його чаша не випробовують дії перепаду тисків, тобто тільки розподіляють матеріал. Функції ж клапанів виконують два малі конуси. При цьому час, необхідне для заміни малих конусів і витрати на ремонт, повинне бути значно менше, чим час, затрачуване на заміну засипного обладнання.

Установка ТЗУ стала можливою завдяки тому, що піч зазнала

реконструкції. Для нового засипного обладнання треба було збільшити висоту колошника печі й відповідно подовжити похилий міст скіпового підйомника приблизно на 5 м.

Трьохконусне завантажувальне устаткування працює в такий спосіб. Матеріал зі скіпа через прийомну лійку попадає в лійку обертаючого розподільника, закриту знизу верхнім малим конусом. Для висипання матеріалу з лійки у верхнє між конусне простір необхідно відкрити верхній малий конус, для чого потрібно відкрити вихлопний клапан, наповнювальний же клапан у цей час закритий. Шихта зсипається з верхнього малого конуса на середній малий конус у його лійку. Після закривання вихлопного клапана малого конуса й відкривання наповнювального клапана тиск у верхньому між конуснім просторі стає рівним тиску в нижньому й відкривається нижній малий конус. Шихта з верхнього між конусного простору пересипається в нижнє між конусне простір. Після того як на більшому конусі набереться повна подача, він відкривається, і шихта падає в піч. обсяг верхнього між конусного простору розраховано на подачу одного скіпа шихти, а обсяг нижнього між конусного простору на повну подачу.

Одним з основних напрямків підвищення техніко-економічних показників доменної плавки є застосування безконусних завантажувальних пристроїв (БЗП), розробка і впровадження раціональних режимів завантаження, створення, освоєння і вдосконалення обладнання систем завантаження. Безконусні завантажувальні пристрої дозволяють організувати практично безперервне завантаження печі при оптимальному розподілі шихтових матеріалів по всьому перетину колошника, а також коригувати і змінювати режим завантаження в широких межах. На підставі результатів досліджень і досвіду експлуатації першого вітчизняного БЗП, встановленого в листопаді 1982р. на доменній печі №6 комбінату «Криворіжсталь», ВНДІМЕТМАШ-УЗТМ розробили новий варіант обертового розподільника (типу «воронка - скліз») з совкової насадкою у горловини воронки і вдосконалили окремі елементи конструкції БЗП. Безконусний

завантажувальний пристрій (БЗП) конструкцій ВНДІМЕТМАШУЗТМ забезпечує прийом шихтових матеріалів, їх шлюзування і розподіл по колу і радіусу колошника відповідно до заданої програми [12]. Подача матеріалів в БЗП (рис. 3.1) здійснюється скіпами. БЗП складається з: приймальної воронки, двох заслінок приймальної воронки, двох проміжних бункерів, двох верхніх газоушільнюючих клапанів, двох вихлопних зрівняльних клапанів, наповнювальних зрівняльних клапанів, шихтового затвора, двох нижніх газоушільнюючих клапанів, двох відсічних пристроїв, приводу розподільника, воронки з совкової насадкою, що обертається, склізу і двох похилих течок. 38

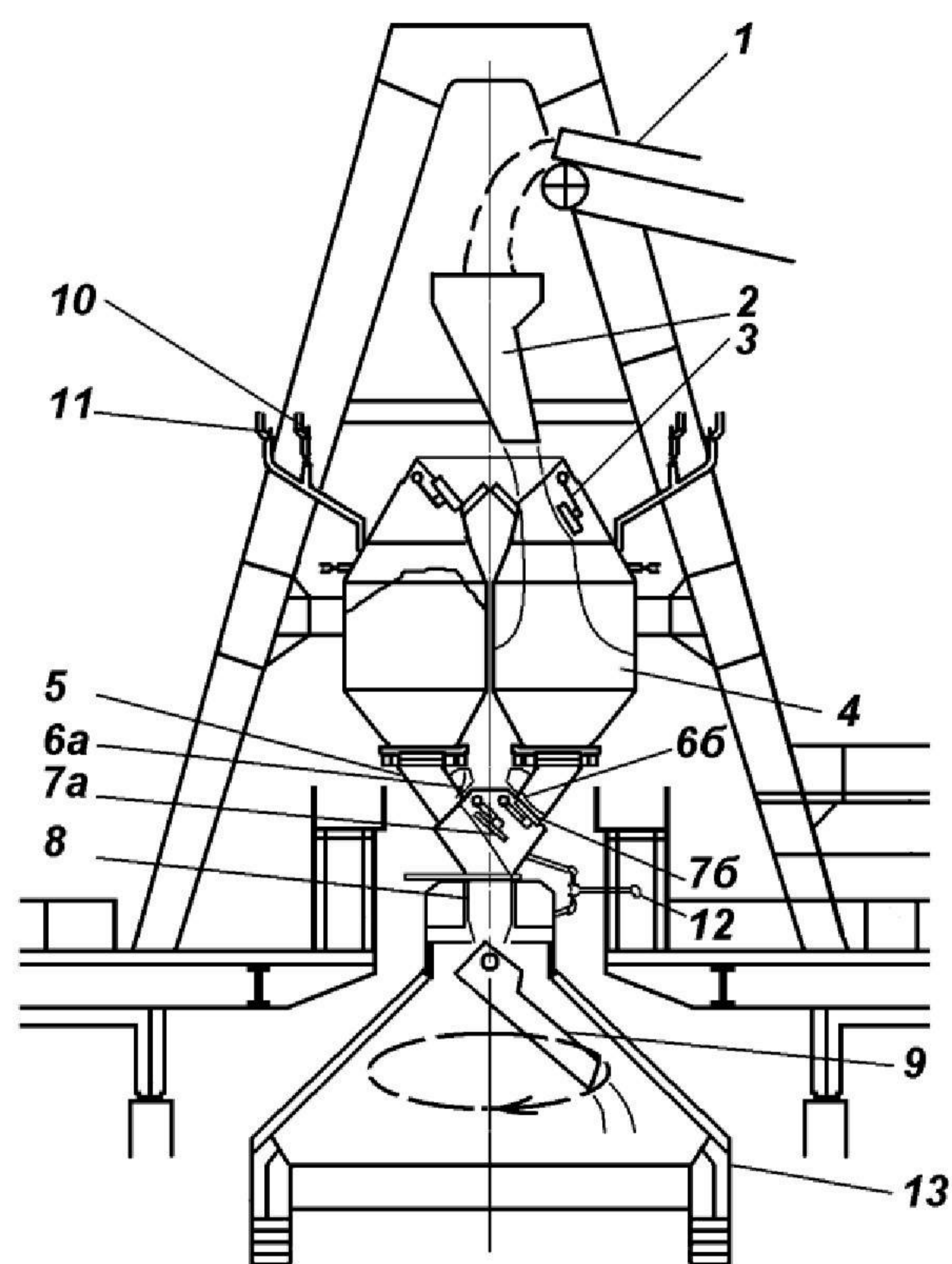
1 - пересувна воронка; 2 – заслінка; 3 - шлюзові накопичувальні бункери з верхнім 2 і нижнім 5 газоушільнюючими тарілчастими клапанами; 4 - шихтовий затвор секторного типу; 6 - конічна воронка; 7 - гідрофіковані відсічні пристрої; 8 - вертикальна тічка; 9 - електромеханічний привід; 10 - розподільний лоток

Рисунок 3.1 - Схема безконусного завантажувального пристрою

Програмне завдання забезпечує: дві програми завантаження (А і Б); завантаження порцій циклами відповідно до програми роботи шихтоподачі, автоматичне чергування порцій в циклі завантаження (максимальне число порцій в циклі при використанні обох програм - 12), зміна від одного до трьох кількості кутів неузгодженості і заданий час 39 обертання скліза і воронки на кожному куті неузгодженості при розсипку однієї порції шихти; пряме і зворотне чергування кілець при розсипку порції; задане положення розподільника (гаражне положення) в момент відкриття шихтового затвора для кожної порції в циклі; число гаражних положень - 12 (крок 30°); зрушення гаражних положень для тих же порцій наступного циклу на кут кратний 30° щодо гаражних положень попереднього циклу; розсипку порцій по одному з режимів (кільцевому, багатокільцевому, віяловому, точковому, секторному); контроль виду матеріалу заданого і розвантажувати для кожної порції в циклі; ручне коригування номера порцій і програми розсипки. Основною принциповою відмінністю розподільника цього типу БЗП є оснащення випускного отвору обертової воронки совковою насадкою,

що формує потік шихти при русі його по склізу. Бічні стінки цієї насадки не дають матеріалу розосереджуватися по поверхні склізу широким шлейфом і тому концентрований його потік за своїм характером стає близьким потоку, утвореному лотком. Крім того, розподільник БЗП обладнаний системою вимірювання маси воронки, що обертається, що дає можливість здійснювати контроль за завантаженням матеріалів в піч

У найбільш сучасних доменних печах застосовуються безконусні завантажувальні пристрої з лотковим розподіляючим шихти (рис. 1.5) [4].



1 — стрічковий транспортер, 2 — направляючий жолоб, 3 — верхній газовий затвор, 4 — проміжний бункер, 5 — розвантажувальний тракт, 6 — шихтові затвори (а — відкритий, б — закритий), 7 — нижні газові клапани (а — відкритий, б — закритий), 8 — центральна тічка, 9 — обертовий лотік, 10 — вирівнювальний клапан, 11 — спускний клапан, 12 — вирівнювальний газопровід, 13 — колошник.

Рисунок 1.5 Принципова конструкція завантажувального пристрою безконусового типу.

Одним з ключових питань розподілу шихтових матеріалів БЗУ лоткового типу є відсутність закономірності вивантаження матеріалів з бункерів при незмінному куті відкриття шихтового затвора. Параметри вивантаження матеріалів з бункерів визначаються не тільки кутом відкриття затвора, а й точністю його установки, зміни гранулометричного складу матеріалів, нерівномірним характером витіку шихти через отвір шихтового затвора постійного перетину. Таким чином, якість розподілу шихтових матеріалів по колу і радіусу колошника залежить від змінних і важко прогнозованих факторів, що значною мірою знижує технологічні можливості БЗУ. [4].

В останні час БЗУ витісняє на доменних печах конусні завантажувальні пристрої через істотно кращі функціональні можливості керованого розподілу шихтових матеріалів на колошником.

Таким чином, при наявності явних переваг безконусних перед конусними завантажувальними пристроями, наявні вади у технологічних та конструктивних параметрах безконусних завантажувальних пристроїв доменних печей.

1.3 Аналіз існуючих типів приводів для маневрування конусами

Розглянемо класифікації приводів конусних завантажувальних пристроїв доменної печі.

За характером взаємодії приводу та штанги механізми бувають з вільним та примусовим опусканням конусів. Схеми з вільним опусканням конуса застосовувалися на перших типових доменних печах, але надалі поширення не набули через частого заклинювання конусів, особливо при підвищеному тиску газу в печі.

На рис. 1.6 показані канатні схеми з балансирами та вільним опусканням конусів. Штанга 1 підвішена на ланцюзі АВ до короткого плеча балансира 2, виконаного у вигляді сектора. До довгого плеча приєднаний канат, що йде до

приводу 3. У схемі конус притискається до чаші вантажем 4. При підйомі вантажу лебідкою конус опускається під дією власної ваги і ваги матеріалу.

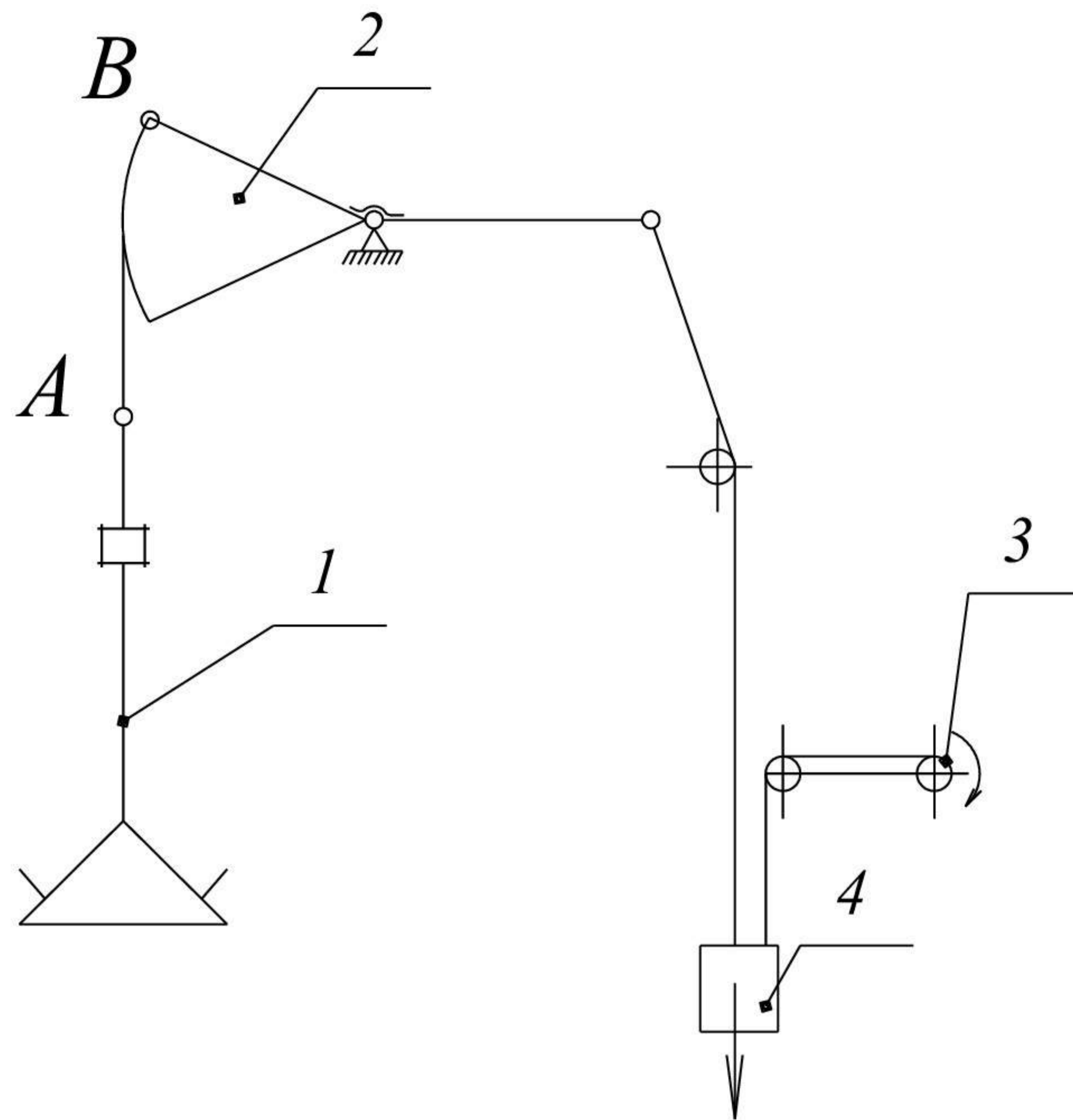


Рисунок 1.6 Канатна схема механізму маневрування конусами із вільним опусканням конусів

На схемі 1.7 привід поршневий, пневматичний. Шток із поршнем закріплений нерухомо; циліндр, що рухається, пов'язаний з канатом і виконує роль вантажу.

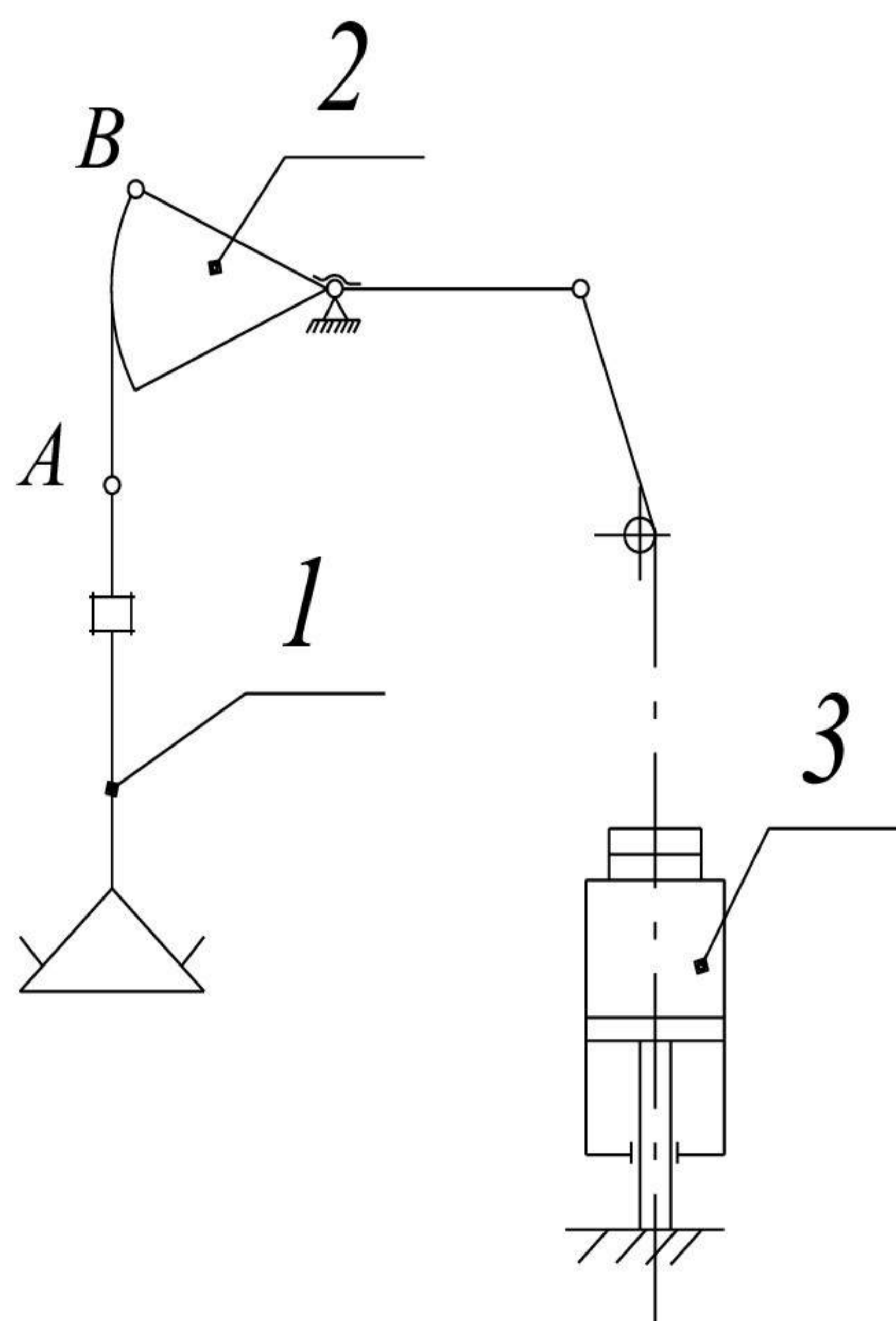


Рисунок 1.7 Канатна схема механізму маневрування конусами з вільним опусканням конусів

Схеми з вільним опусканням конуса застосовувалися на перших типових доменних печах, але надалі поширення не набули через частого заклинювання конусів, особливо при підвищеному тиску газу в печі.

Ця схема, прийнята як типова, порівняно проста і компактна, але недоліком її є наявність канатів, заміна та регулювання яких вимагають зупинки печі. Обрив канатів при маневруванні призводить до ударів конуса об чашу, що може спричинити руйнування штанги та інших елементів завантажувального пристрою.

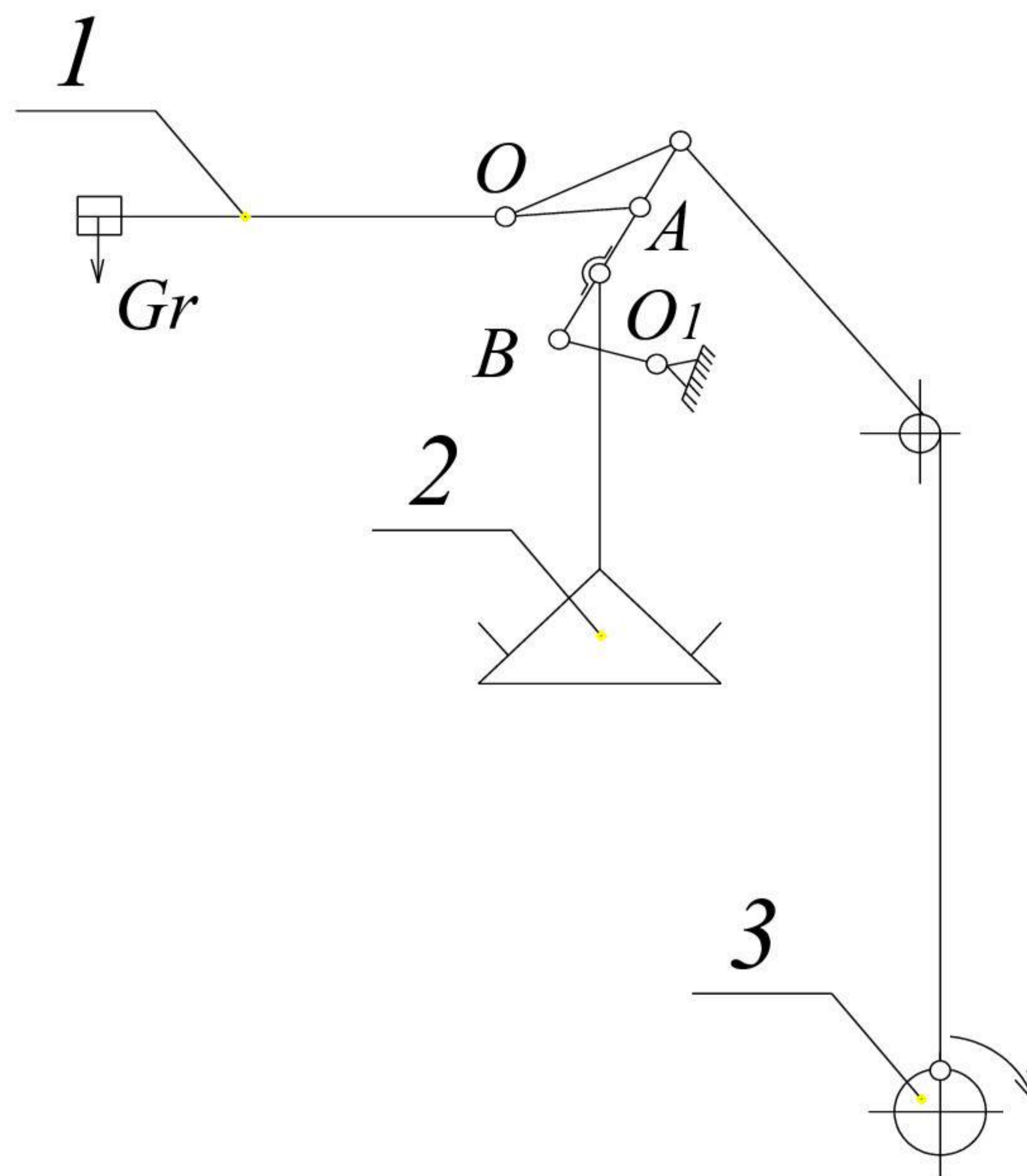


Рисунок 1.8 Канатна схема механізму маневрування конусами з балансирами та примусовим опусканням конусів

На рисунку 1.9 зображено безканатну схему. Конус 2, з'єднаний з кривошипним балансиrom 1, піднімається і притискається до чаші вантажем, а опускається гідроприводом плунжерним, який пов'язаний з балансиrom шатуном А.

Один із варіантів безбалансирного приводу з вільним опусканням конуса показаний на рис. 6. Конус 3 за допомогою спеціальної підвіски 2 приєднаний до плунжерного гідроприводу 1, який піднімає та притискає конус до чаші. Опускається конус вільно. Схеми 5 та 6 прийняті для маневрування конусами триконусного завантажувального пристрою конструкції заводу «Запоріжсталь».

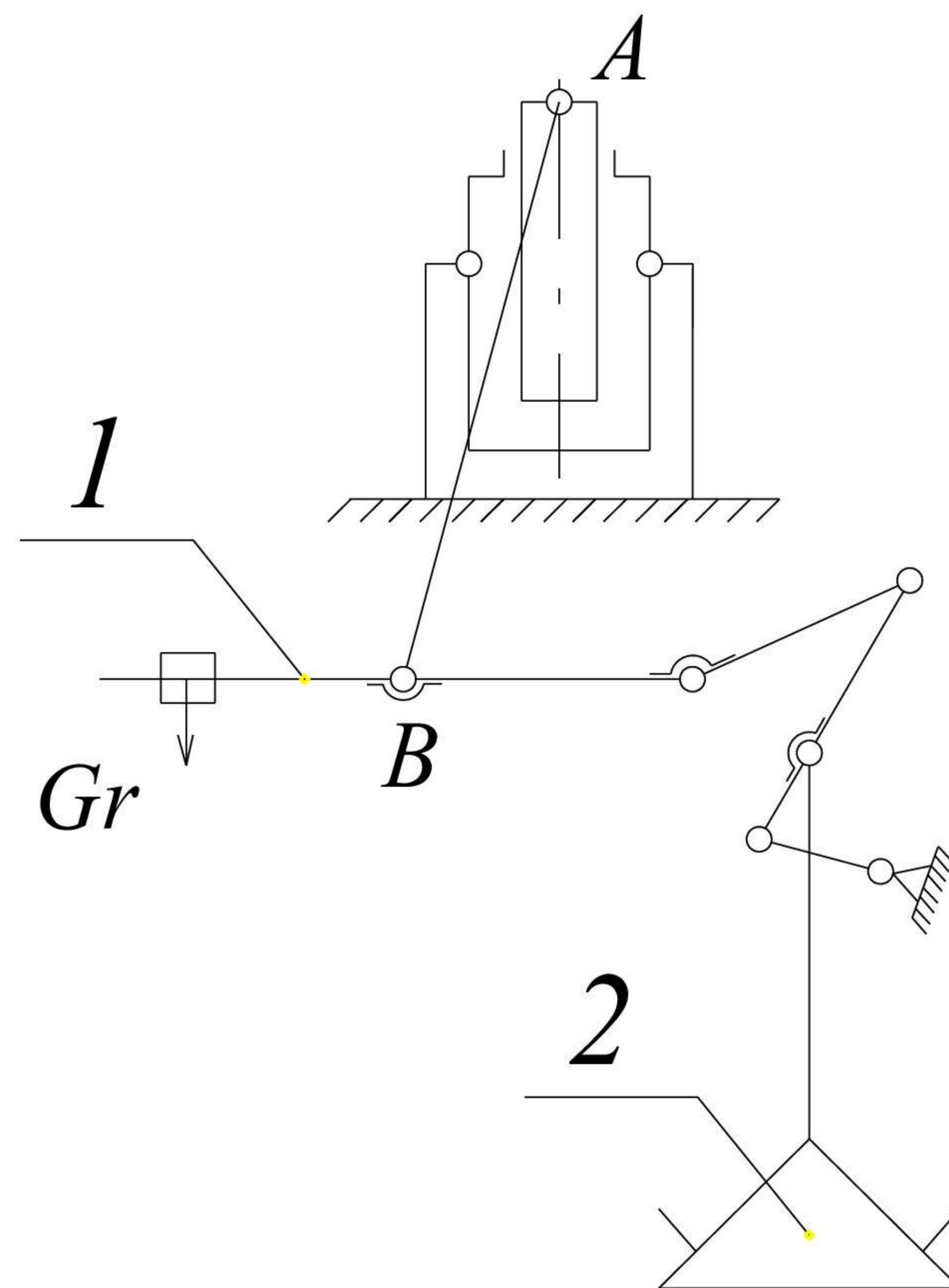


Рисунок 1.9 Безканатна схема механізму маневрування

Кривошипні балансири 7 застосовуються у схемах з примусовим опусканням конусів. Двоплечі важелі 4 великого конуса змонтовані на осі Проржорстко, а малого 3 – на підшипниках ковзання. До коротких плечей шарнірно приєднані прямилі ОАВ01. У середній точці шатуна АВ підвішується штанга. На довгих плечах закріплені контрвантажі, які піднімають і притискають конуси до контактних поверхонь чаші і воронки, що обертається. Корпуси підшипників кочення осі балансуєчих встановлені на рамі 2.

При центруванні великого конуса щодо чаші раму переміщують у горизонтальній площині гвинтовими домкратами 5. Опорний візок 1 утримує двоплечі важелі при послабленні канатів під час ремонтів.

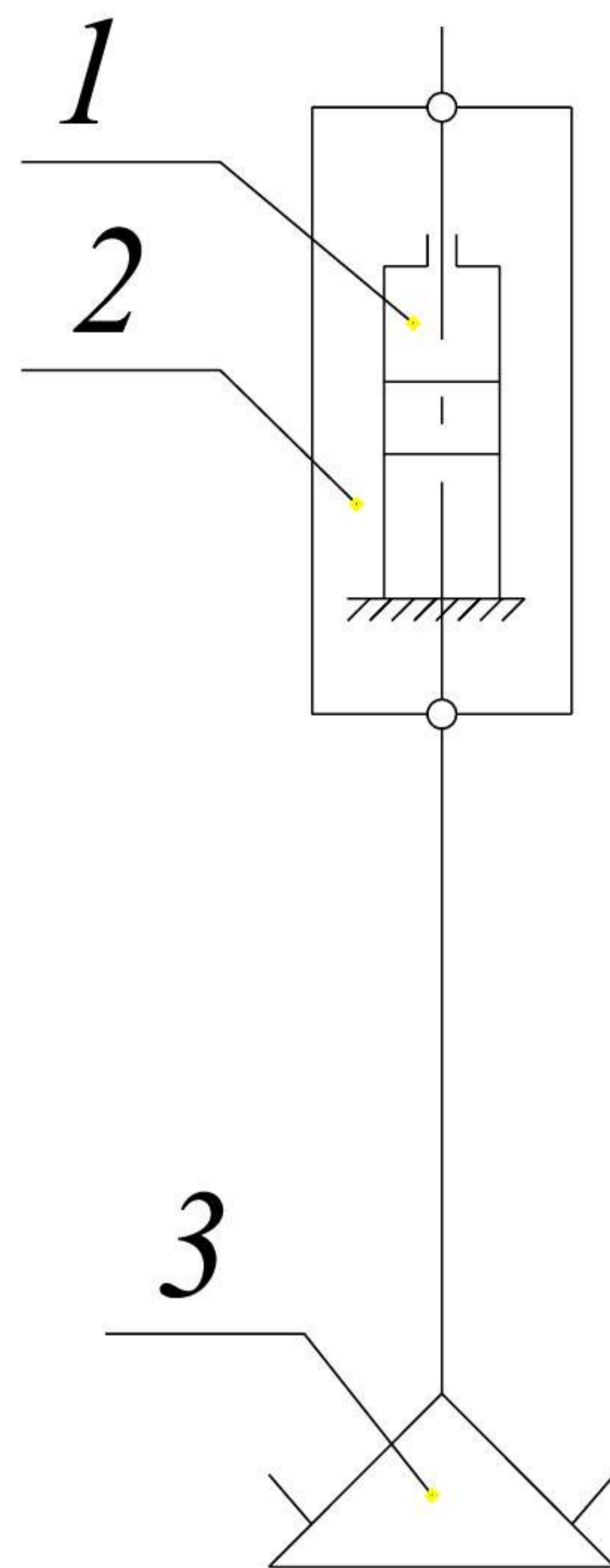


Рисунок 1.10 Безбалансирний привід із вільним опусканням конуса
Технічна характеристика кривошипних балансірів конструкції УЗТМ та ЮУМЗ наведена у таблиці 1.1

Таблиця 1.2 Технічна характеристика кривошипних балансірів

Параметр	Модель балансиру			
	КП-2-85	КП-2-90	КП-2-105	КП-1-158
Хід конуса, мм:				
Великого	750	750	750	590
Малого	900	900	900	800
Кут повороту балансира конуса				
Великого	61°50'	61°50'	61°50'	43°17'
Малого	76°08'	76°08'	76°08'	60°
Зусилля у штанзі конуса, кН				
Великого	850	900	1033	1580
Малого	365	400	375	640
Корисний об'єм печі, мЗ	1513	1719	2000	2700

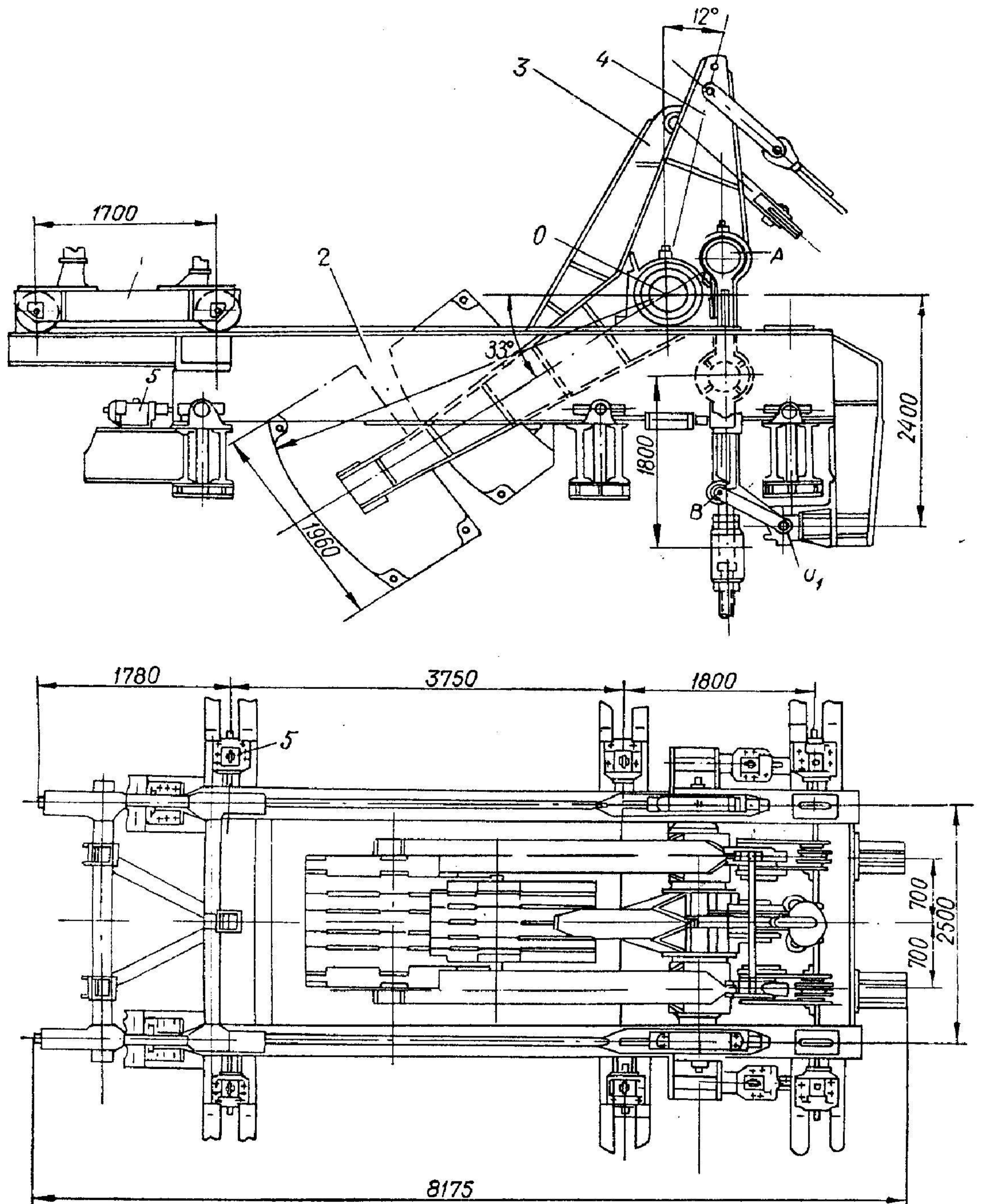


Рисунок 1.11 Кривошипні балансири

Лебідки для маневрування конусами бувають індивідуальні та комбіновані. Перші використовують для переміщення одного конуса, а другі — двох.

На рис. 1.12 зображено кінематична схема типової комбінованої лебідки. Від двигуна через 8 циліндричний редуктор 9 і пару зубчастих коліс 7,2 обертання передається вантажному валу. Зубчасте колесо 2 утримується на валу шпонкою. Барабани великого 3 та малого 1 конусів змонтовані на

підшипниках ковзання. На барабанах закріплені пластинчасті ланцюги 6, до яких кріпляться канати, що йдуть до балансу конусів. На зубчастому колесі та барабанах є кулаки, за допомогою яких в залежності від напрямку обертання колесо зчепляється з барабаном великого або малого конуса. Для запобігання ланцюгу від закручування в місці її з'єднання з канатом шарнірно прикріплена штанга 4, що проходить через втулку 5. З вантажним валом пов'язаний командоапарат 10.

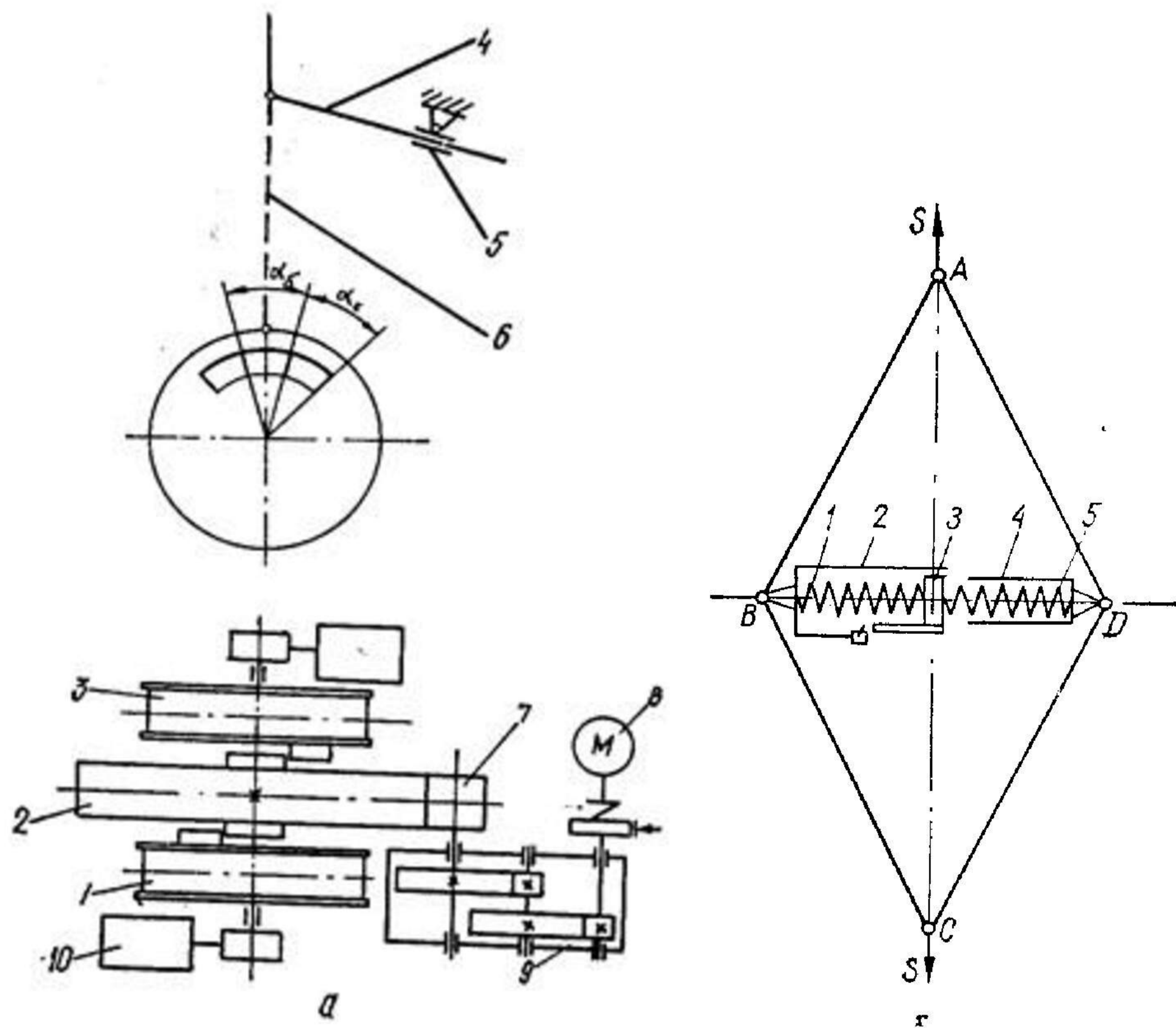


Рисунок 1.12 Кінематична схема комбінованої лебідки для маневрування конусами

Якщо конус закритий, ланцюг розташований по радіусу барабана. При обертанні барабана ланцюг опускається і відхиляється убік до тих пір, поки стане дотичної до поверхні барабана, а потім навивається на нього. Лебідки можуть бути одно- або дво-руховими (для печей об'ємом понад 2300 м³). Технічна характеристика лебідок наведена в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 Технічна характеристика лебідок

Параметр	Модель лебідки		
	ЛК-38М-11	ЛК-45	ЛК-70
Робочий натяг ланцюга конуса, кН:			
-великого	230	270	400
-малого	150	160	190
Максимальний натяг ланцюга, кН	380	450	700
Хід ланцюга, мм	2600	2600	2600
Швидкість руху ланцюга, м/с	0,67	0,67	0,68
Двигун:			
Потужність, кВт	150	180	2x150
Частота обертання, об/хв	1000	1000	1000

Для захисту від перевантаження між канатом, що йде до балансирів, і ланцюгом лебідки встановлюють запобіжні пристрої. Звичайний захист двигуна по струму тут практично некорисний, тому що під час пуску, навіть за дуже великих зусиль в канаті, момент опору на барабані малий.

На рисунку 1.12 б показана схема запобіжного пристрою. Шарнірний паралелограм ABCD у точках А, С приєднаний до канатів та ланцюга. У діагоналі, D встановлені пружини. Пружина 5 малої жорсткості розташована між склянкою 4 і втулкою 3, а пружина 1 великої жорсткості між втулкою 3 і склянкою 2. Із зростанням величини S деформується пружина 5, хід якої дорівнює 15 мм (деформацією пружини 1 можна знехтувати). Стакан 4 упирається у втулку 3, і при подальшому збільшенні зусилля S деформується пружина 1. Таким чином контролюється не тільки максимальне, але і мінімальне натяг каната.

Вибір та обґрунтування конструкції привода маневрування конусами доменної печі наведено у наступному розділі.

2. Опис та розрахунок привода маневрування конусами

2.1 Вибір та обґрунтування прийнятої конструкції приводу для маневрування конусами

Для маневрування конусами завантажувального пристрою приймаємо гідравлічний привід, який має ряд переваг перед канатним звичайним приводом. Великий конус відкривається примусово, а закривається контрвантажем. Малі конуси (верхній та середній) відкриваються вільно, а закриваються примусово. Сили інерції при закритті великого конуса гасяться демпфером, що забезпечує його посадку в чашу зі швидкістю, близькою до нуля. При цьому досягається щільне притискання до чаш (для малих конусів – регульованим тиском у гідроциліндрах, для великого – вагою контрвантажу).

Швидкість маневрування конусами, їхнє прискорення та уповільнення в крайніх положеннях можна регулювати, забезпечуючи плавне закриття. Змінюючи швидкість опускання конусів, використовуючи при цьому регулюючі дроселі, можна одночасно поліпшити розподіл шихти на колошнику.

Гідропривід не пов'язаний з похилим мостом, і вібрації моста, що зазвичай викликають розгойдування конусів, на нього не передаються. Описаний привід можна уніфікувати для доменних печей будь-якого обсягу. Все обладнання зібрано в одному компактному агрегаті та для приводу всіх конусів застосовують один багаторежимний насос. Обладнання гідроприводу важить 32 т. Основний радіально-поршневий насос 36 наводиться від електродвигуна 37 змінного струму потужністю 75 кВт при 960 об/хв; насос системи керування 46 наводиться від електродвигуна 47 потужністю 1 кВт.

На металургійному комбінаті «Запоріжсталь» розроблено та застосовано гідравлічний привід для триконусного завантажувального пристрою. Система працює в такий спосіб (рисунок 2.1).

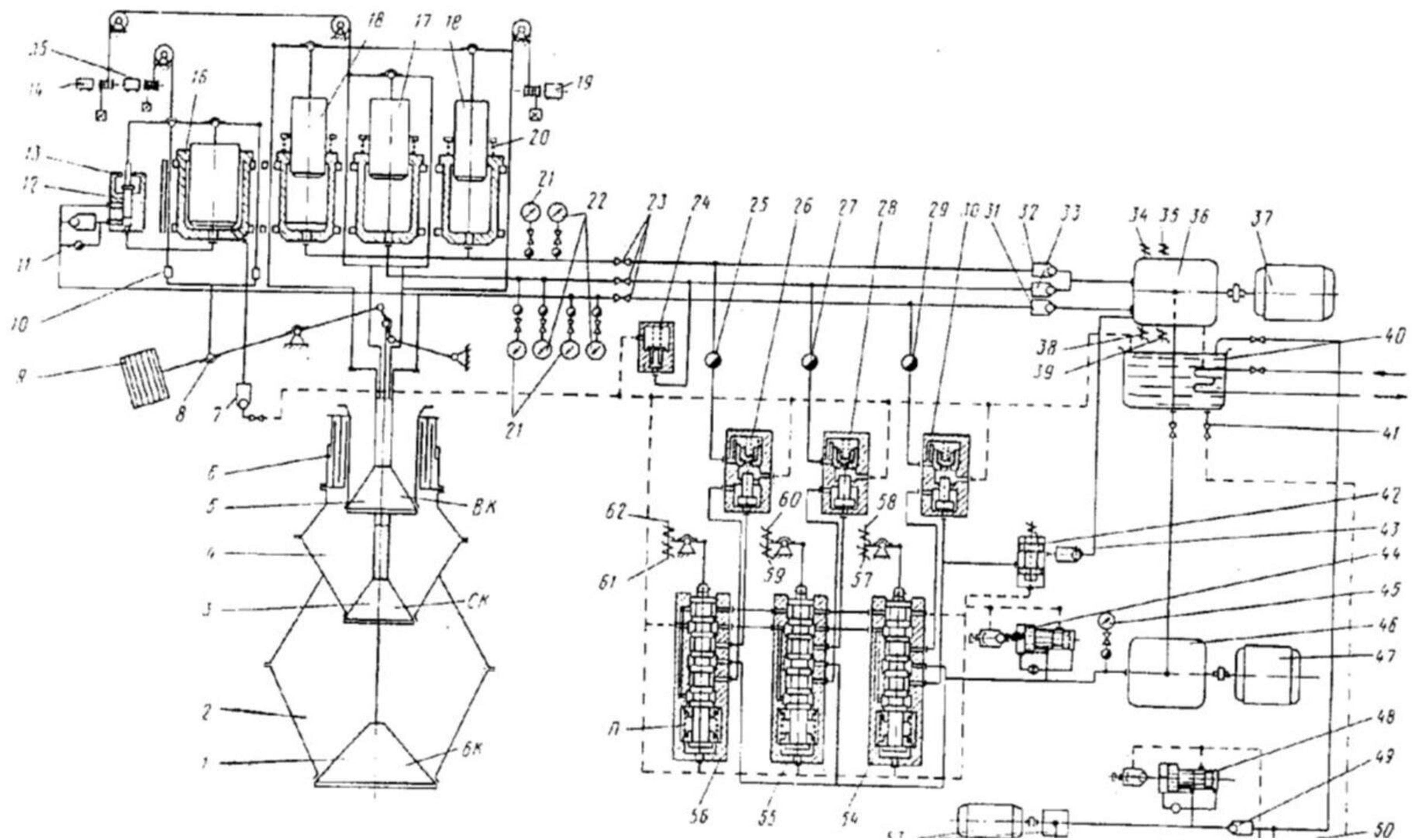


Рисунок 2.1 Схема гідравлічного приводу триконусного завантажувального пристрою.

Коли всі конуси (верхній та середній малі ВК і СК і великий БК) закриті, насоси 36 і 46 працюють вхолосту при знеструмлених електромагнітах золотників управління 54-56. При цьому всі золотники управління перебувають у середньому положенні під дією пружин П і перекривають вікна. Клапани 26 і 28 закриті, а циліндри 17 і 18 знаходяться під тиском олії. Контактні манометри малих конусів 21 і 22 у разі падіння тиску (в заданих межах) замикають свої контакти і дають імпульс для включення електромагніта 34. Після такої команди насос 36 подає масло через зворотні клапани 32 і 33 і запірні вентилі 23 і відбувається підживлення циліндрів середнього верхнього малих конусів 17 та 18 (обох або кожного окремо). Запобіжний клапан середнього конуса 24 при цьому закритий пружиною, яка відрегульована на тиск, що забезпечує прилягання середнього і верхнього конусів малих 3 і 5 до своїх воронок. 4 та 6.

Клапан 30 в цей період відкритий і з'єднує порожнину великого циліндра конуса через корпус демфера 13, дросель великого конуса 29 і корпусу клапана 30 з масляним баком 40, в результаті чого тиск в циліндрі 16 виходить близьким до атмосферного.

Вся система завжди заповнена маслом, для чого баки 40 розташовані вище циліндрів та органів управління. Щоб підтримувати клапан 30 у відкритому положенні, під поршень його штовхача через зворотний клапан 43 і золотник 42 подається масло від постійно працюючого допоміжного насоса шестеренного, вбудованого в насос 36.

Насос 46 в цей період працює, але не створює тиск, так як він розвантажений розвантажувально-запобіжним клапаном 44 золотник якого направляє масло в бак.

Маневрування верхнім малим конусом 5 відбувається за командою системи керування завантаженням доменної печі. Електромагніт 62 переміщує золотник 56 управління цим конусом вниз; переливний золотник клапана 44 переміщається, і цей клапан стає запобіжним. Насос 46 розвиває тиск і подає масло через золотник 56 під поршень штовхача, який піднімає клапан 26. Олія з циліндра 18 через запірний вентиль 23, дросель 25 і клапан 26 зливається в бак під дією плунжерів, траверси, верхнього малого конуса і шихти ньому. Тиск у циліндрі 17 не знімається, оскільки відбувається замикання зворотним клапаном 33.

У міру падіння тиску масла в циліндрах 18 плунжер і свя підвісна система ВК опускаються (зі швидкістю, що регулюється дроселем 25) до упору плунжерів пружини 20. Ланцюг манометра 22 в цей час розмикається на панелі системи управління завантаженням.

При установці ВК нижнє положення контакти командоконтролера 19 замикаються, даючи імпульси на відключення електромагніту 62 і включення електромагніту 61; при цьому золотник 56 переміщається вгору, подає масло поршень штовхача клапана 26 і знімає тиск під поршнем; в результаті клапан 26 закривається під дією пружини. Тиск масла насосом 46 підвищується до спрацьовування запобіжного клапана 44 і контактний манометр 45 відключає електромагніт 61, після чого система управління повертається у вихідне положення.

Після відповідної витримки, необхідної для зсипання всієї шихти з лійки

6, система управління завантаженням включає електромагніт першого ступеня малих конусів 34, масло починає надходити через зворотний клапан 32 і запірний вентиль 23 під плунжери 18 циліндра верхнього конуса, і конус 5 починає повільно закриватися. Потім командоапарат 19 замикає другий ступінь, так що контакт конуса 5 з лійкою 6 здійснюється на повзучій швидкості. Насос 36 продовжує працювати і розвиває тиск, достатній для щільного притискання конуса до воронки, після чого перекладається на холостий хід через електроконтактний манометр 22 і електромагніт 34 і вся система ВК приводу повертається у вихідне положення.

Маневрування середнім малим конусом 3 здійснюється аналогічно; при цьому працюють його золотник 55, електромагніти 59 і 60, клапан 28, дросель 27, командоконтролер 14 і циліндр 17. Запобіжний клапан 24 захищає систему від бавовнів при підвищенні тиску у лійці 4 малого конуса 3. Надлишковий тиск знімається клапаном 24; при цьому конус 3 опускається на деяку частину свого ходу, після чого контролер 14 подає команду насосу 36 на закриття конуса 3.

Великий конус 1 опускається за командою системи керування завантаженням. Електромагніт 58 переміщує золотник 54 вниз, пересуваючи переливний золотник розвантажувально-запобіжного клапана 44; насос 46 при цьому подає масло поршень штовхача клапана 30 при відкритому виході для масла з-під поршня; в результаті клапан 30 закривається під дією пружини. Насос 46 підвищує тиск у системі до заданого, і контактний манометр включає електромагніти золотника 42 і 38 на насосі 36. При цьому золотник 42 від'єднує систему управління від насоса 36, який починає подавати масло через клапан зворотний 31, запірний вентиль 23 і демпфер 13 під плунжер циліндра 16 великого конуса і великий конус 1 починає повільно опускатися.

Незабаром командоконтролер 15 включає електромагніт другого ступеня 39 і починається швидке опускання БК. При підході до нижнього положення той же командоконтролер знову включає електромагніт 38 і насос перекладає на перший ступінь; внаслідок цього швидкість опускання

зменшується до заданої.

У крайньому нижньому положенні БК командоконтролер 15 включає електромагніти 38 і 39 і насос переводить 36 в режим холостої роботи. Якщо насос не відключиться, штанги циліндра великого конуса своїми упорами 10 наблизяться до станини блоку циліндрів і балансир, а з ним і великий конус зупиняться.

Після деякої паузи система управління завантаженням включає електромагніт 57 і керуючий золотник 54 переміщається вгору, забезпечуючи відкриття клапана 30 і вимикання переливного золотника клапана 44. Одночасно з включенням електромагніта 54 відключається електромагніт клапана 42 і система управління з'єднується з шестерним насосом, вбудованим в насос. 30 відкривається, і масло з циліндра 16 під дією контрвантажувача 9 витісняється через дросель 29 і клапан 30 бак 40. Швидкість опускання БК регулюється дроселем 29.

Перш ніж великий конус досягне крайнього нижнього положення, траверса циліндра плунжера 16 буде упиратися в золотник демпфера 12, який при своєму опусканні плавно знизить швидкість опускання плунжера і підйому БК; в результаті великий конус плавно закриється, а контргруз 9 забезпечить його повне притискання до чаші (балансир 8 з вантажем 9 важать 35 т). Голковий клапан 11 призначений для регулювання швидкостей підходу великого конуса до чаші.

Тиск після насоса 46 продовжує підвищуватися, контактний манометр відключає електромагніт 57; золотник 54 під дією своєї пружини займає середнє положення, через що насос 46 розвантажується через переливний золотник клапана 44. Клапан 30 підтримується у відкритому положенні тиском масла від насоса 36 через зворотний клапан 43 і золотник 42.

Система приводу великого конуса після цього закінчує свій цикл, і його привід входить у вихідний стан.

При бавовні над великим конусом він опускається у піч; при цьому контрвантаж і плунжер циліндра 16 піднімаються, і циліндр засмоктується

через клапан 7 масло з бака 40. Після падіння тиску в газовому затворі 2 конус плавно закривається, як і при нормальному програмному закриванні.

Манометри пов'язані з манометрами, що показують, і самопишучими приладами, встановленими в машинному залі.

Елементи схеми 41,49,50,48,51,53 і 52 дозволяють злити масло із системи, заправити її свіжою олією і зберігати свіжу олію до заправки та відпрацьоване до відвантаження на регенерацію.

2.2 Розрахунок елементів конусного завантажувального пристрою доменної печі

Розрахунок зусилля у штанзі великого конуса

Таблиця 2.1 Основні параметри гідроприводу

Параметри	ВК	СК	БК
Хід конуса, мм	900	900	750
Діаметр плунжера, мм	180	250	340
Число циліндрів	2	1	1
Площа плунжера (плунжерів,), см ²	509	491	908
Робочий об'єм циліндрів, л	46	44	68
Маса, т:			
-конуса та ін рухомих частин	21	15,2	33,3
-шихти	13,6	27,2	30,1
Зусилля на плунжері, кН(т)	407(40,7)	393(39,3)	667(66,7)
Тиск олії в системі, Мн/м ² (кг/см ²)	8(80,0)	8(80,0)	7,5(74,5)
Максимальне зусилля у штанзі, кН (т)	509(20,9)	491(49,1)	1100(110)
Коефіцієнт балансирності при закритому конусі	1,3	1,11	2,1
Час, з:			

Параметри	БК	СК	БК
-опускання конусів	6	6	12
-витримки	1,5	1,5	2,0
-Підйому конусів	8,5	8,2	6-7
-всього спрацьовування	16,0	15,7	20-21

При русі конуса статичне зусилля в штанзі визначається за формулою (2.1):

$$T = (G_{Ш} + G_K)9.81 = (30.1 + 33.3)9.81 = 63.4 \cdot 9.81 = 621.954 \text{кН}, \quad (2.1)$$

де $G_{Ш}$, G_K - вага шихти та конуса зі штангою.

Під час підйому конуса $G_{Ш} = 0$, а під час опускання змінюється від максимального значення до нуля. Для визначення величини $G_{Ш}$ припустимо, що зсипання матеріалу з конуса відбувається так само, як і при бічній розвантаженні із щілинного бункера. В цьому випадку швидкість закінчення визначається наступним чином :

$$v = \lambda \sin \alpha \cdot \sqrt{2g(1.6R - \frac{\tau_0}{\gamma\mu})}, \quad (2.2)$$

де λ - коефіцієнт закінчення ($\lambda = 0,3 \dots 0,5$), приймаємо $\lambda = 0,4$, α – кут нахилу утворює конуса, $\alpha = 62^\circ$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; R – гідравлічний радіус щілини; τ_0 - початковий опір зсуву; γ - об'ємна маса матеріалу; μ – коефіцієнт внутрішнього тертя.

За відсутності спостереження величина τ_0 мала, і її можна знехтувати. Тому

$$v = \lambda \sin \alpha \cdot \sqrt{3,2gR}$$

Для щілинних бункерів з малою шириною щілина гідравлічний радіус щілини дорівнює:

$$R \simeq \frac{A-a}{2}, \quad (2.3)$$

де A - ширина щілини, $A = 398 \text{мм}$; a – розмір типових шматків шихти ($a = 0,8 \text{макс} = 0,07 \text{м}$).

Отже,

$$v = \lambda \sin \alpha \cdot \sqrt{1,6g(A - a)} = 0,4 \cdot \sin 62^\circ \cdot \sqrt{1,6 \cdot 9,8(0,398 - 0,070)} = 0,75 \text{ м/с}$$

Секундна об'ємна витрата матеріалу Π через кільцеву щілину (рисунок 2.2) дорівнює добутку площі щілини на швидкість v . Після перетворень

$$\begin{aligned} \Pi &= 6,28y\lambda \sin 2\alpha (D - 0,5y \sin 2\alpha) \sqrt{y \cos \alpha - a} = \\ &= 6,28 \cdot 0,75 \cdot 0,4 \cdot \sin 2 \cdot 62^\circ (4,85 - 0,5 \cdot 0,75 \cdot \sin 2 \cdot 62^\circ) \sqrt{0,75 \cos 62^\circ - 0,070} \\ &= 4,675 \end{aligned}$$

(2.4)

де y – переміщення конуса, $y = 0,75$ м (див. рисунок 2.2); D – діаметр конуса, $D = 4,85$ м.

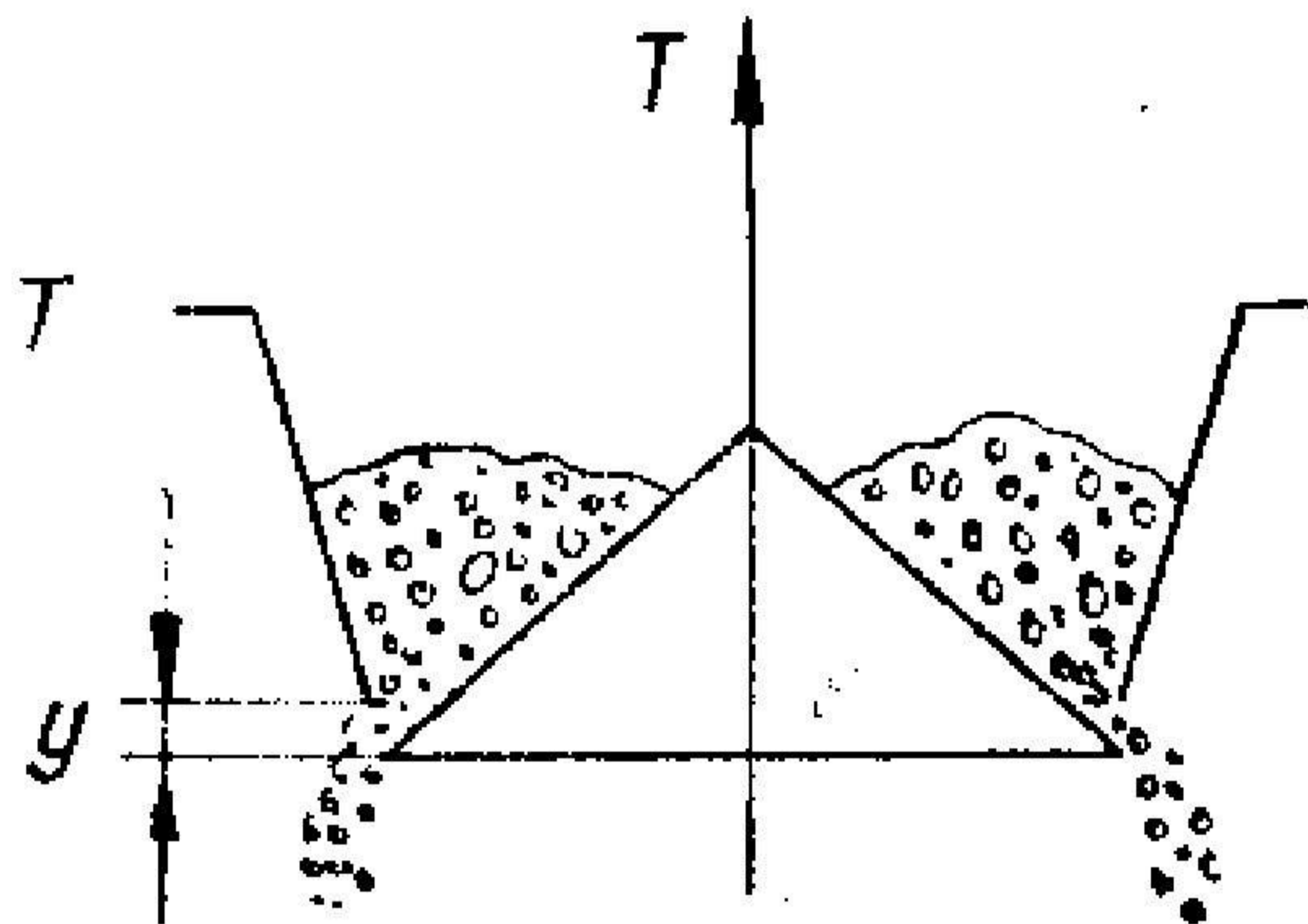
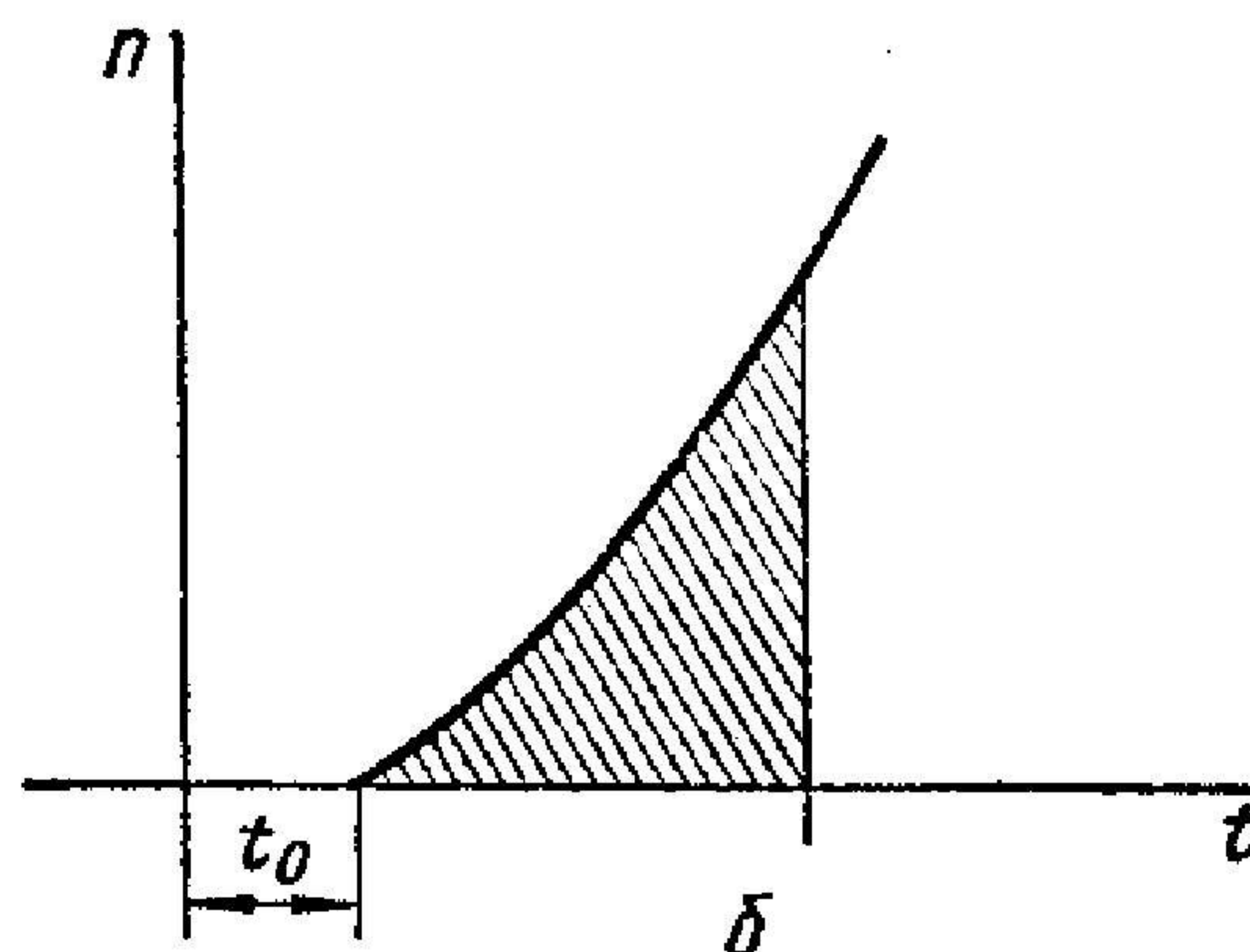


Рисунок 2.2 Схема визначення переміщення конуса

Ссипання матеріалу починається при $y > a / \cos \alpha$ і відбувається зі змінною витратою. На рисунку 2.3 зображено графік зміни величини Π функції часу. При побудові графіка вважається, що y – задана функція часу (тобто – заданий графік швидкості руху каната). Заштрихована на графіці площа пропорційна обсягу матеріалу V , що зсипався з конуса за час t .



Рисунку 2.3 Графік зміни величини Π функції часу

Вага матеріалу, що залишився на конусі в даний момент часу або в цьому положенні, розраховується за формулою (2.5):

$$G_{III} = (V_0 - V)\rho g = (29 - V)0.1058 \cdot 9,81 = 30,1 \text{ т}, \quad (2.5)$$

де V_0 - початковий обсяг шихти на конусі, $V_0 = 29 \text{ м}^3$; ρ - насипна маса шихти; $\rho = 105,8 \text{ кг}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Таким чином, за час опускання та витримки конусів ($12+2=14 \text{ с}$) зсипається 30,1 т шихти.

Визначення ваги контрвантажу

Контрвантажі, встановлені на балансирах, повинні забезпечувати надійне притискання конуса до чаші та створювати у штанзі зусилля (2.6):

$$T_0 = (\alpha \cdot G_k + G_{III})9.81 = (2.1 \cdot 33.3 + 30.1)9.81 = 981.3 \text{ кН}, \quad (2.6)$$

де α – коефіцієнт додаткового притискання ($\alpha \geq 1,25$), $\alpha = 2,1$ – з умови; G_k - вага конуса та штанги, $G_k = 33,3 \text{ т}$; G_{III} - максимальна вага шихти, $G_{III} = 30,1 \text{ т}$.

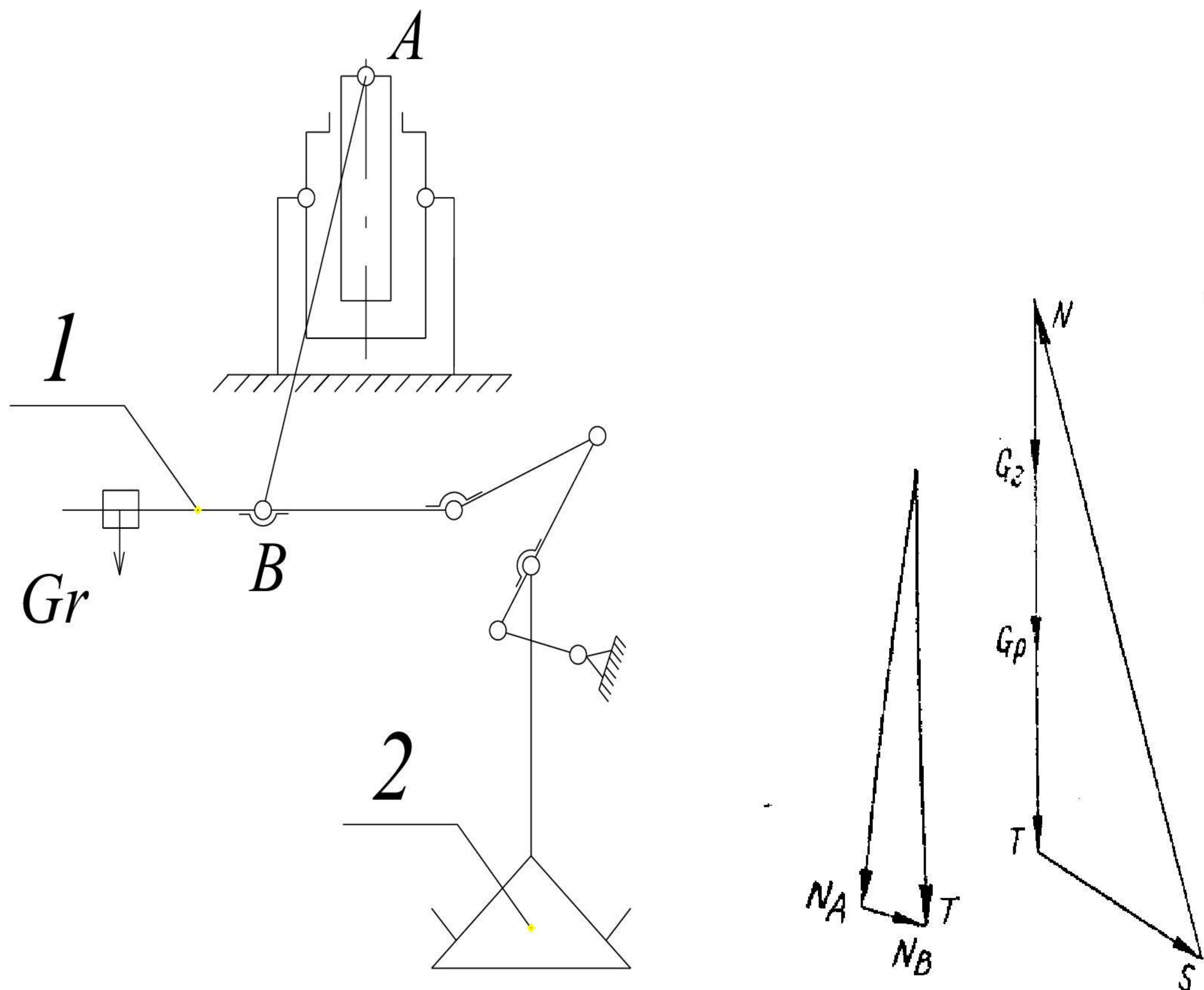


Рисунок 2.4 – Схема для розрахунку приводу для маневрування конусами

Штанга конуса приєднана до шатуна прямильного механізму ОАВО1 (див. рис. 2.4). До балансиру прикладена сила NA , отримана розкладанням сили T на складові NA та NB . Практично в межах переміщення балансиру шатун AB мало відхиляється від вертикалі, і $NA \equiv T$. Тому силу T вважають прикладеною в точці A .

Для визначення ваги контрвантажувача запишемо таке рівняння рівноваги балансиру (рис. 2.4) :

$$Gh_G - T_0h_T + P_{\Pi}h_P - M_T = 0, \quad (2.7)$$

де G - сума ваги контрвантажувача G_{Γ} і важелів балансу $GP = 4,5$ т; h_G – плече сили G щодо осі, $h_G=4,5$; P_{Π} - зусилля на плунжері, $P_{\Pi} = 667$ кН; M_T – момент тертя у опорних підшипниках балансира.

Приблизно момент тертя дорівнює:

$$M_T \approx (G + T_0)\mu \frac{d}{2}, \quad (2.8)$$

Тоді з рівняння рівноваги балансу:

$$G = \frac{T_0 \left(h_T + \mu \frac{d}{2} \right) - P_{\Pi} \cdot h_P}{h_G - \mu \frac{d}{2}} = \frac{981,3 \left(0,8 + 0,1 \frac{0,23}{2} \right) - 667 \cdot 0,668}{3,5 - 0,1 \frac{0,23}{2}} = 234,46 \text{кН}$$

Звідси $G_{\Gamma} = G - GP = 23,8 - 4,5 = 19,3$ т.

Розрахунок гідроприводу

Розрахуємо тиск у гідроциліндрі. Приймаємо зразкову величину втрат тиску в гідросистемі. Практика показує, що вони для гідросистем із середнім ступенем насичення гідроапаратурою та іншими джерелами опорів становлять $(0,1 \dots 0,15)P_H$. Тоді робочий тиск у гідроциліндрі дорівнюватиме

$$P_p = (0,85 \dots 0,90)P_H = (0,85 \dots 0,90)7,5 = 6,375 \dots 6,75 \text{ МПа} \quad (2.9)$$

Для подальших розрахунків приймаємо $P_p = 6,7$ МПа.

Визначаємо наближену площу гідроциліндра з урахуванням його коефіцієнта корисної дії за формулою:

$$S = \frac{P_y h_p}{P_p \cdot \eta} = \frac{667 \cdot 10^3}{6,7 \cdot 10^3 \cdot 0,85} = 0,117 \text{ м}^2 \quad (2.10)$$

А з іншого боку площа гідроциліндра визначається за такою формулою:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,34^2}{4} = 0,091 \text{ м}^2$$

Визначення тисків у порожнинах нагнітання й зливу й визначення діаметра поршня силового гідроциліндра.

Згідно зі схемою гідроприводу складемо рівняння для тисків у порожнинах нагнітання гідроциліндрів P_1 і в порожнинах зливу P_2 . Для цього складемо схему розподілу тисків у гідросистемі.

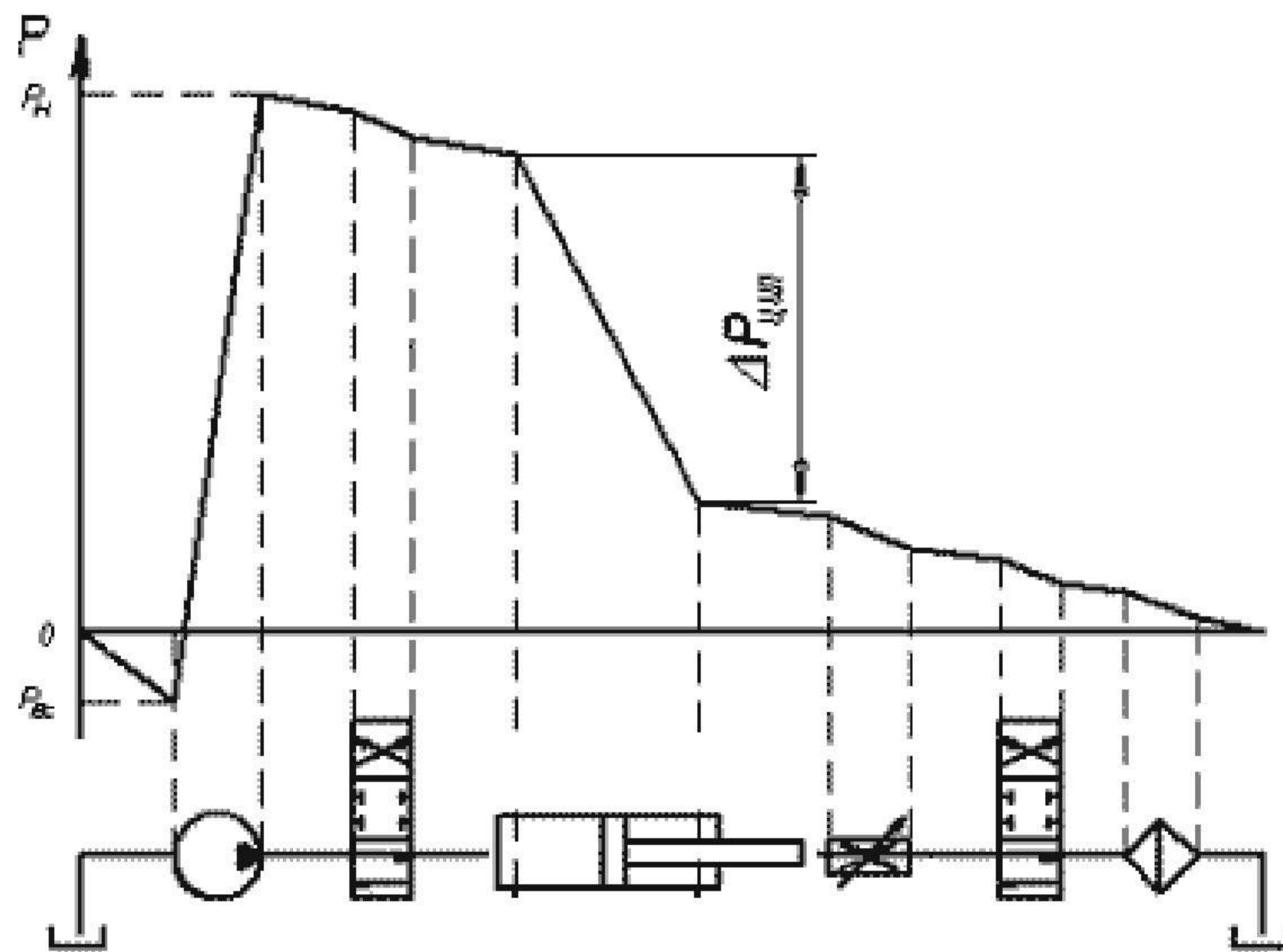


Рисунок 2.5 Схема розподілу тисків у гідросистемі

Рівняння тисків P_1 і P_2 запишемо у вигляді:

$$P_1 = P_H - \Delta P_{\text{зол } 1} - \Delta P_2, \quad (2.11)$$

$$P_2 = \Delta P_{\text{др}} - \Delta P_{\text{зол } 2} - \Delta P_{\text{ф}} - \Delta P_2, \quad (2.12)$$

де P_1 - тиск у гідроциліндрі, МПа; P_2 - тиск у штоковій порожнині гідроциліндра, МПа; P_H - тиск, що розвивається насосом, МПа; $\Delta P_{\text{зол } 1}$ і $\Delta P_{\text{зол } 2}$ - перепади тисків на гідро розподільнику, МПа; ΔP_1 і ΔP_2 - перепади тисків у трубах l_1 і l_2 , МПа; $\Delta P_{\text{др}}$ - перепад тиску на дроселі, МПа; $\Delta P_{\text{ф}}$ - перепад тиску на фільтрі, МПа.

Згідно [4] залежно від величини корисного зусиллі R приймемо робочий тиск у гідросистемі, тобто тиск, що розвивається насосом P_H буде рівно 6,3 МПа. Перепади тисків на золотнику, дроселі й фільтрі приймемо в такий спосіб:

$$\Delta P_{\text{зол } 1} = \Delta P_{\text{зол } 2} = 0,2 \text{ МПа};$$

$$\Delta P_{\text{др}} = 0,3 \text{ МПа};$$

$$\Delta P_{\text{ф}} = 0,1 \text{ МПа}.$$

Тому що перепади тисків у трубах на першій стадії розрахунків визначити не можна, те приймемо попередньо $\Delta P_{\text{зол } 1} = \Delta P_{\text{зол } 2} = 0,2 \text{ МПа}$. Тоді P_1 і P_2 будуть рівні:

$$\Delta P_1 = 6,3 - 0,2 - 0,2 = 5,9 \text{ МПа};$$

$$\Delta P_2 = 0,3 + 0,2 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ МПа}.$$

Визначення діаметра поршня силового циліндра

Складемо рівняння рівноваги поршнів силових циліндрів, зневажаючи силами інерції:

$$P_1 F_1 = P_2 F_2 + R + T, \quad (2.13)$$

де F_1 - площа поршня з боку поршневої порожнини, м^2 ; F_2 - площа поршня з боку штокової порожнини, м^2 ; R - зусилля на штоках, $R = 47 \text{ кН}$; T - сила тертя, прикладена до поршня.

Сила тертя T збільшується з ростом тиску рідини в циліндрі. Її можна визначити по формулі

$$T = (0,02 \dots 0,1)R = 0,08 \cdot 47 = 3,76 \text{ кН}. \quad (2.14)$$

Визначимо площі гідроциліндра F_1 і F_2 , використовуючи співвідношення

$$v_{\text{пр}} = \frac{S}{t_p} \quad \text{та} \quad v_{\text{пх}} = \frac{S}{t_x}$$

де $v_{\text{пр}}$ і $v_{\text{пх}}$ швидкості поршня при робітнику й холостому ході.

Перетворимо рівняння до виду

$$\frac{v_{\text{пр}}}{v_{\text{пх}}} = \frac{t_x}{t_p}$$

Витрата рідини, що надходить у силовий циліндр можна визначити по формулі

$$Q = v_{\text{п}} \cdot F \quad (2.15)$$

Якщо витрата рідини, що надходить у силовий циліндр при робітнику й холостому ході однаковий, то

$$Q = v_{\text{п}} \cdot F_1 \text{ и } Q = v_{\text{п}} \cdot F_2 \quad (2.16)$$

$$\frac{v_{\text{ПР}}}{v_{\text{ПХ}}} = \frac{F_2}{F_1} \quad (2.17)$$

Із цих виражень випливає

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{t_X}{t_P} \quad \text{або} \quad \frac{t_X}{t_P} = \frac{(D^2 - d^2)}{D^2}$$

звідки

$$d = D \sqrt{1 - \frac{t_X}{t_P}} \quad (2.18)$$

Отже, вираження площі поршня в штоковій порожнині прийме вид:

$$F_2 = \frac{\pi \left(D^2 - D^2 \left(1 - \frac{t_X}{t_P} \right) \right)}{4} \quad (2.19)$$

Підставляючи вираження площ F_1 і F_2 , зможемо визначити діаметр поршня

$$D = \sqrt{\frac{4(R+T)}{\pi \left(P_1 - P_2 \frac{t_X}{t_P} \right)}} = \sqrt{\frac{4(47000 + 3760)}{3,14 \cdot (6,3 \cdot 10^6 - 0,8 \cdot 0,7 \cdot 10^6)}} = 0,106 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр циліндра $D = 110$ мм. По довідникові [3] вибираємо гідроциліндр ГОСТ 22-1417-79 з номінальним тиском $P = 6,3$ МПа.

Габаритні й приєднувальні розміри обраного гідроциліндру, мм [3]

Таблиця 2.2 Геометричні розміри

D	S	d	D ₁	d ₁	d ₂	b	r _{max}	l _{min}
110	630	50	127	M33x2	40	40	50	50

Порахуємо площу поршня в поршневій і штоковій порожнині

$$F_1 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,110^2}{4} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,110^2 - 0,050^2)}{4} = 7,54 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Визначення витрати робочої рідини й вибір насоса

Визначаємо витрата рідини, що надходить у поршневу порожнину

силового гідроциліндра

$$Q_{ц1} = v_{пп} \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.20)$$

де $v_{пп}$ - швидкість переміщення поршня, яка визначається відношенням ходу поршня до часу робочого ходу

$$v_{пп} = \frac{S}{t_p} = \frac{0,5}{10} = 0,05 \text{ м/с.}$$

тоді

$$Q_{ц1} = 0,05 \frac{3,14 \cdot 0,110^2}{4} = 0,475 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 28,5 \text{ л/хв.}$$

Подача насоса з урахуванням витоків робочої рідини визначиться по формулі:

$$Q_H = (Q_{ц1} + \Delta Q_{ц}) \cdot 2z + \Delta Q_{зол} + \Delta Q_{ПК}, \quad (2.21)$$

де $\Delta Q_{ц}$ - витоку рідини в силовому циліндрі; $\Delta Q_{зол}$ - витоку в золотнику; $\Delta Q_{ПК}$ - витоку через запобіжний клапан; z - число гідроциліндрів.

Витоку в силовому циліндрі $\Delta Q_{ц}$ визначимо по формулі:

$$\Delta Q_{ц} = \Delta Q_{ц}^* \frac{P_1}{P^*} = 70 \cdot 10^{-3} \frac{6,3}{10} = 0,044 \text{ л/хв.}$$

Витоку в золотнику

$$\Delta Q_{зол} = \Delta Q_{зол}^* \frac{P_1}{P^*} = 100 \cdot 10^{-3} \frac{6,3}{10} = 0,063 \text{ л/хв.}$$

Витоку через запобіжний клапан приймемо $\Delta Q_{ПК} = 0,1Q_H$. Подача насоса

$$Q_H = (28,5 + 0,044)2 + 0,063 + 0,1Q_H,$$

$$Q_H - 0,1Q_H = (28,5 + 0,044)2 + 0,063,$$

$$Q_H = \frac{(28,5 + 0,044)2 + 0,063}{0,9} = 63,5 \text{ л/хв} = 1,058 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Визначимо необхідний обсяг насоса

$$q = \frac{Q_H}{n \cdot \eta_0}, \quad (2.12)$$

де n - частота обертання ротора насоса;

η_0 - об'ємний ККД насоса,

$$q = \frac{63,5}{1000 \cdot 0,9} = 0,071 \text{ л} = 71 \text{ см}^3.$$

Вибираємо по розрахованих параметрах пластинчастий гідронасос Г12-24М с робочим обсягом 80 див³, номінальною подачею 70 л/хв., номінальним тиском 6,3 МПа й об'ємним ККД $\eta_0^* = 0,9$ (Рис.2.6).

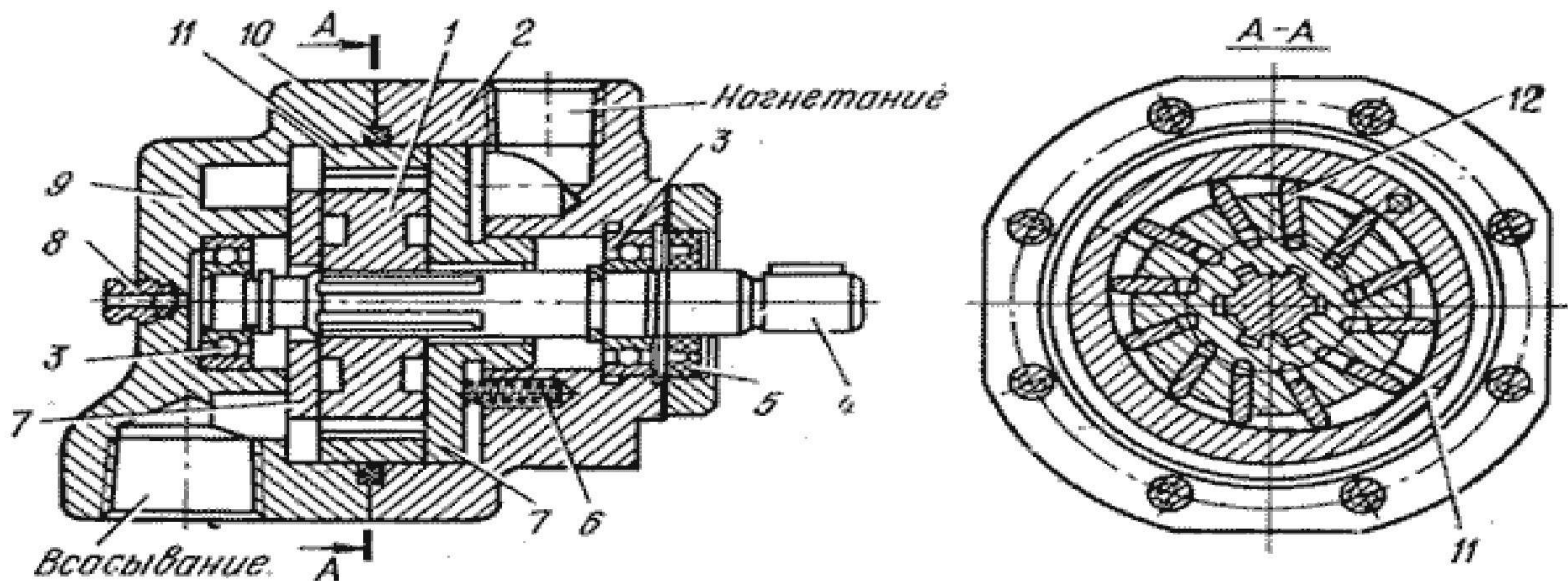


Рис.2.6 Пластинчастий насос Г12-24М

Насос складається з корпусу 2 із кришкою 9, між якими розміщуються статорне кільце 11. На приводному валу 4 на шліцах установлений ротор 1, у пазах якого поміщені пластини 12. Вал обертається в кулькових підшипниках 3. До торців ротора притиснуті торцеві розподільні диски 7 із чотирма вікнами для усмоктування й нагнітання. Один з торцевих розподільних дисків плаваючий: на початку роботи насоса він підтискається до ротора пружинами 6, а під час роботи - тиском рідини, що надходить із напірної гідро лінії. Герметизація насоса досягається установкою гумового або коркового кільця 10 і манжет 5 з маслостойкой гуми. Витоку по валу приділяються через дренажний отвір 8.

Уточнюємо витрата рідини, що скидається через запобіжний клапан у бак:

$$\Delta Q_{ПК} = q \eta_0 - 2(Q_{Ц1} + \Delta Q_{Ц}) - \Delta q_{зол} = 80 \cdot 10 - 3 \cdot 1000 \cdot 0,9 - 2(28,5 + 0,044) - 0,063 = 14,85 \text{ л/хв.}$$

Розрахунки діаметра трубопроводу й швидкості руху рідини

Знаходимо внутрішній діаметр труб, за допомогою яких з'єднуються

гідроапарати. Для цього задамося швидкістю руху рідини згідно з вимогами держстандарт залежно від тиску насоса P_H . Приймаємо $v_{PЖ} = 3,2$ м/с. Маючи у виді, що

$$Q_{ц1} = \frac{v_{PЖ} \pi \cdot d_T^2}{4} \quad (2.13)$$

де d_T - внутрішній діаметр труб.

Одержимо:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ц1}}{\pi \cdot v_{PЖ}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,475 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 3,2}} = 0,014 \text{ м.}$$

Знайдене значення діаметра d_T округляємо до найближчого стандартного в більшу сторону відповідно до держстандарту 16516-80, тобто $d_T = 16$ мм. Уточнивши внутрішній діаметр труб, знаходимо середню швидкість руху рідини в трубах

$$v_{PЖ1} = \frac{4 \cdot Q_{ц1}}{\pi \cdot d_T^2} = \frac{4 \cdot 0,475 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,016^2} = 2,36 \text{ м/с.}$$

Таблиця 2.3 Технічна характеристика гідроапаратури

Гідроапаратура	Кіл-ть	Тип	Витрата, л/хв	Тиск, МПа	Перепад тисків, МПа
Запобіжний клапан [2]	1	ПГ54-34М	125	6,3	0,6
Гідророзподільник [14] (Δp по [2, 3])	1	ВММ10.44	33	32	0,22
Дросель [2]	2	ПГ77-14	80	20	0,25
Фільтр щілинний [2]	1	40-80-1	40	6,3	0,1
Клапан зворотний [2]	2	Г51-33	63	20	0,25

Знаючи витрати й орієнтовні величини тисків, приступимося до вибору

гідроапаратури. Стосовно до гідроприводу, що розраховується, необхідно вибрати запобіжний клапан, гідро розподільник, два дроселі, два зворотні клапани й фільтр. Робимо добір гідроапаратури, що задовольняє отриманим даним по витраті Q_H (не нижче 70 л/хв) і тиску P (не нижче 6,3 МПа). Усі дані по обраній апаратурі представлені в табл.2.3.

Запобіжний клапан ПГ54-34М (рис2.7) стикового приєднання складається з наступних основних деталей: корпуса 3, ковпачка 5, золотника 2, пружини 6, регулювального гвинта 8 і втулки 7. Масло підводить до апарата через отвір P і приділяється через отвір A . Лінія P через канал 10 і малий отвір (демпфер) 11 з'єднано з порожниною 1, а порожнина 9 через канал 4 - з отвором A . Коли зусилля від тиску масла на торець золотника в порожнині 1 долає зусилля пружини 6 (регулюється гвинтом 8) і зусилля від тиску масла на протилежний торець золотника в порожнині 9, золотник переміщається нагору, з'єднуючи лінії P і A .

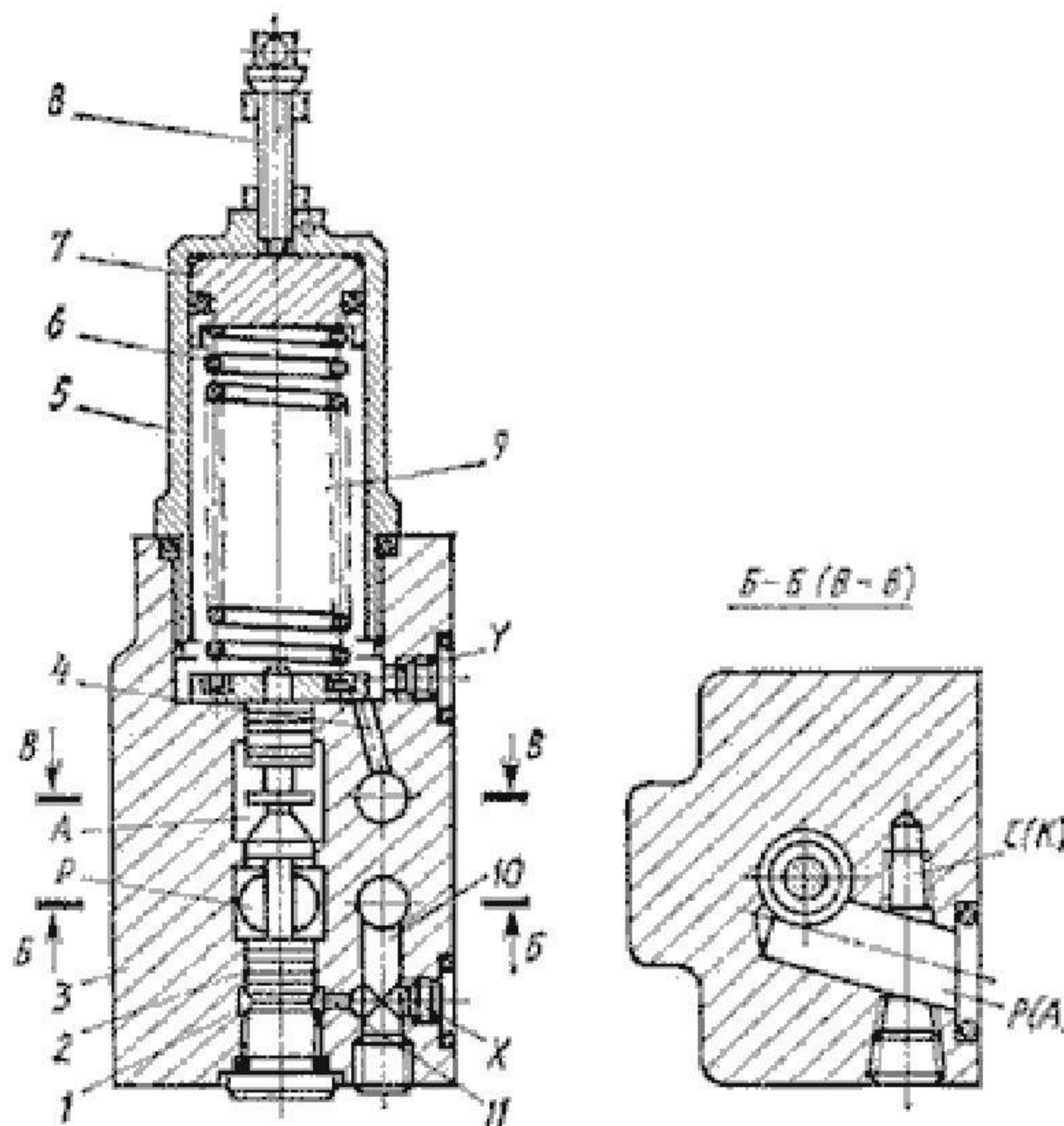
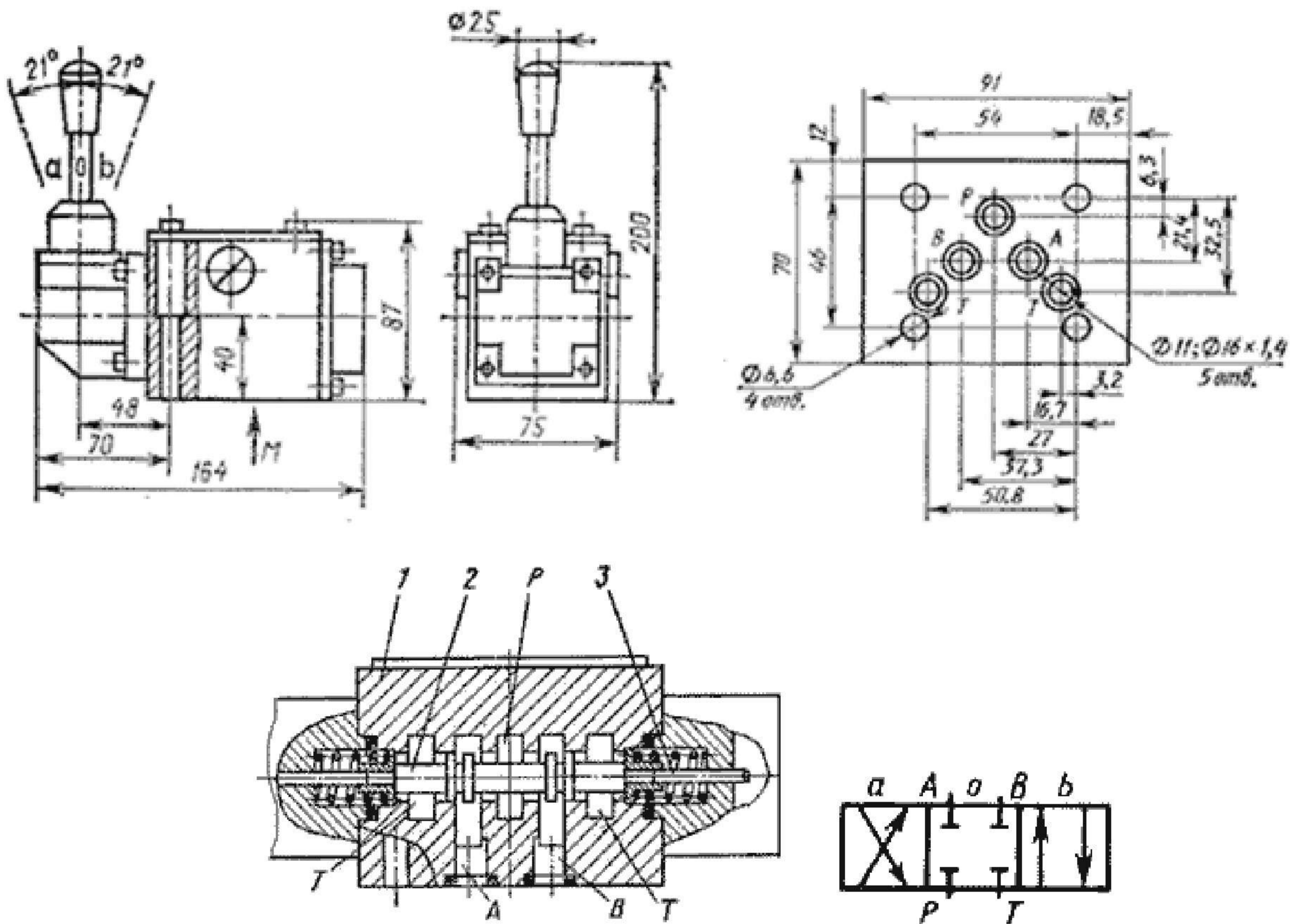


Рис.2.7 Конструкція гідро клапана тиску ПГ54-34М

Гідророзподільник типу ВММ10.44 за ДСТ 24697-81 (Рис.2.8) має чавунний литому корпус 1, у якому виконані канали для підключення ліній P , T , A і B . Корпус має п'ять маслопідводящих канавок. У центральному отворі корпуса (діаметром 10 мм) розташований золотник 2, який через штовхальники 3 переміщається вузлом керування.



а- зовнішній вигляд; б- конструкція; в - виконання по 44-й гідросхемі

Рис.2.8 Розподільник ВММ 6.44 і пілот з керуванням від рукоятки:

Дросель типу ПГ77-14 (ТУ27-20-2205-78) складається з наступних основних деталей (мал.2.6): корпуса 1, втулки 2, втулки-дроселя 3, гвинта 4, валика 6, лімба 8, контргайки 7, пробки 11, пружини 10, покажчика оборотів 5 і штифта 9. Масло з гідросистеми підводить до отвору "підвід" апарата, проходить через дроселюю щілину, утворену фасонним отвором у втулці 2 і торцем втулки-дроселя 3 (вид Б), і приділяється через отвір "відвід". Витрата регулюється шляхом осьового переміщення втулки-дроселя 3 за допомогою гвинта 4 в одну сторону й пружини 10 - у протилежну. Гвинт повертається від лімба 8 через валик 6. Між гвинтом і валиком установлена втулка із зубчастим зачепленням, що дозволяють так установлювати лімб щодо валика, що при повністю закритому дроселі витік його не перевищує 0,06 л/хв. Повному осьовому переміщенню втулки-дроселя відповідає чотири обороти лімба, що дозволяє плавно регулювати витрата масла. Після кожного повного обороту лімба за допомогою штифта 9 повертає на $\frac{1}{4}$ обороту

показчик 5, на торці якого є цифри "1"... "4"; мимовільний поворот показчика запобігає кульковому пружинному фіксатору. Гострі країки по всім периметру дроселюючої щілини практично виключає залежність устанавленого витрати від температури масла, а трикутна форма прохідного перетину при малих відкриттях зменшує небезпека засмічення.

Фільтр щілинний 40-80-1 ДСТУ 21329-75 (рис..2.9) має фільтруючий пакет, що полягає з набору основних 8 і проміжних 9 пластин. Фільтр по конструкції складається зі склянки 1, кришки 2, осі 3, стійки 10 із закріпленими на ній шкребками 11, рукоятки 4, ущільнень 5, 6 і пробки 7, що служить для зливу забруднень. З отвору I кришки масло проходить через щілини між пластинами 8 і приділяється в гідросистему через отвір II. При повороті фільтруючого пакета рукояткою 4 шкребки 11 прочищають щілини між основними пластинами. Очищення фільтруючого пакета не рекомендується виконувати під час роботи гідроприводу.

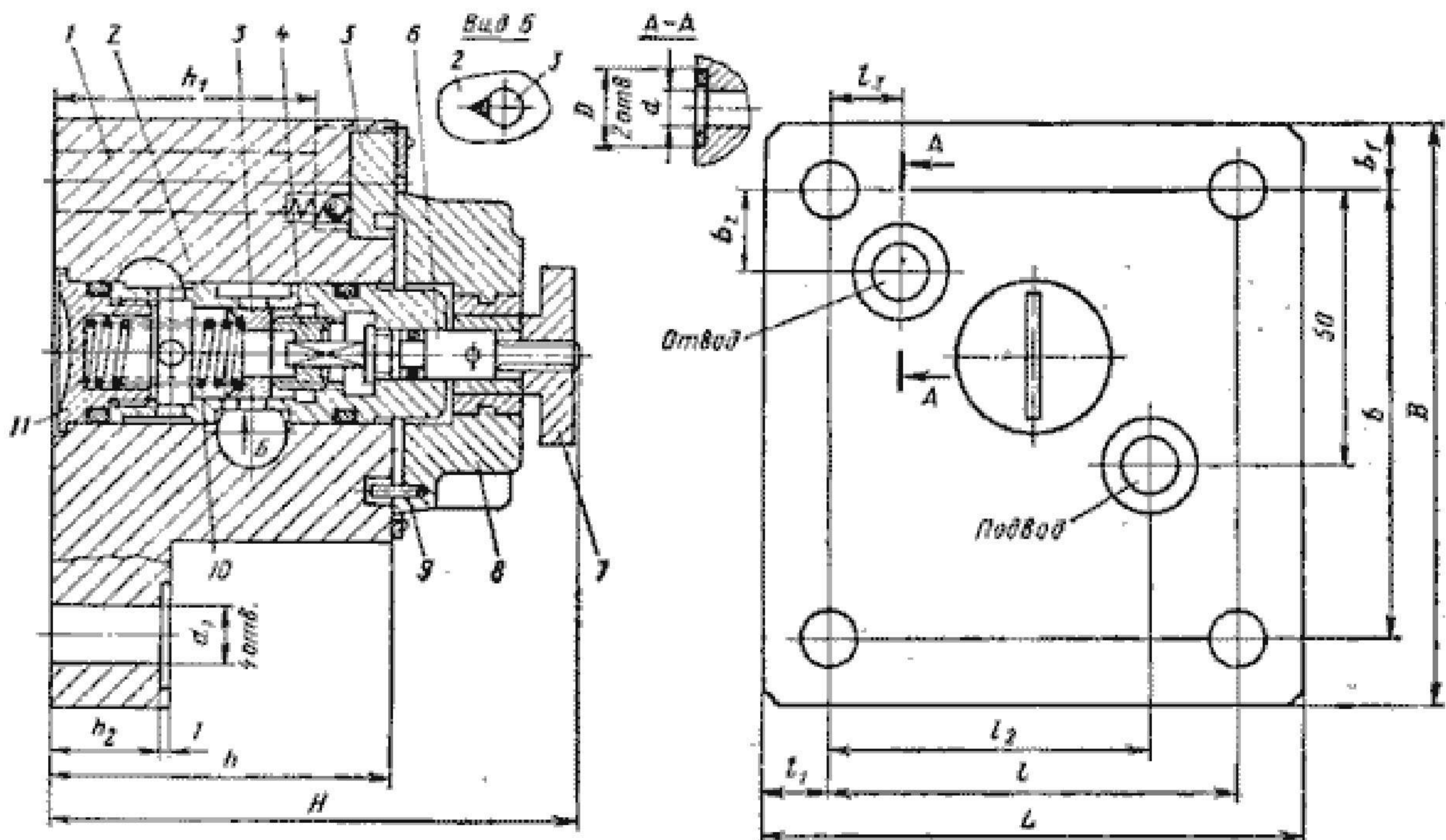


Рис2.9 Конструкція дроселя ПГ77-14

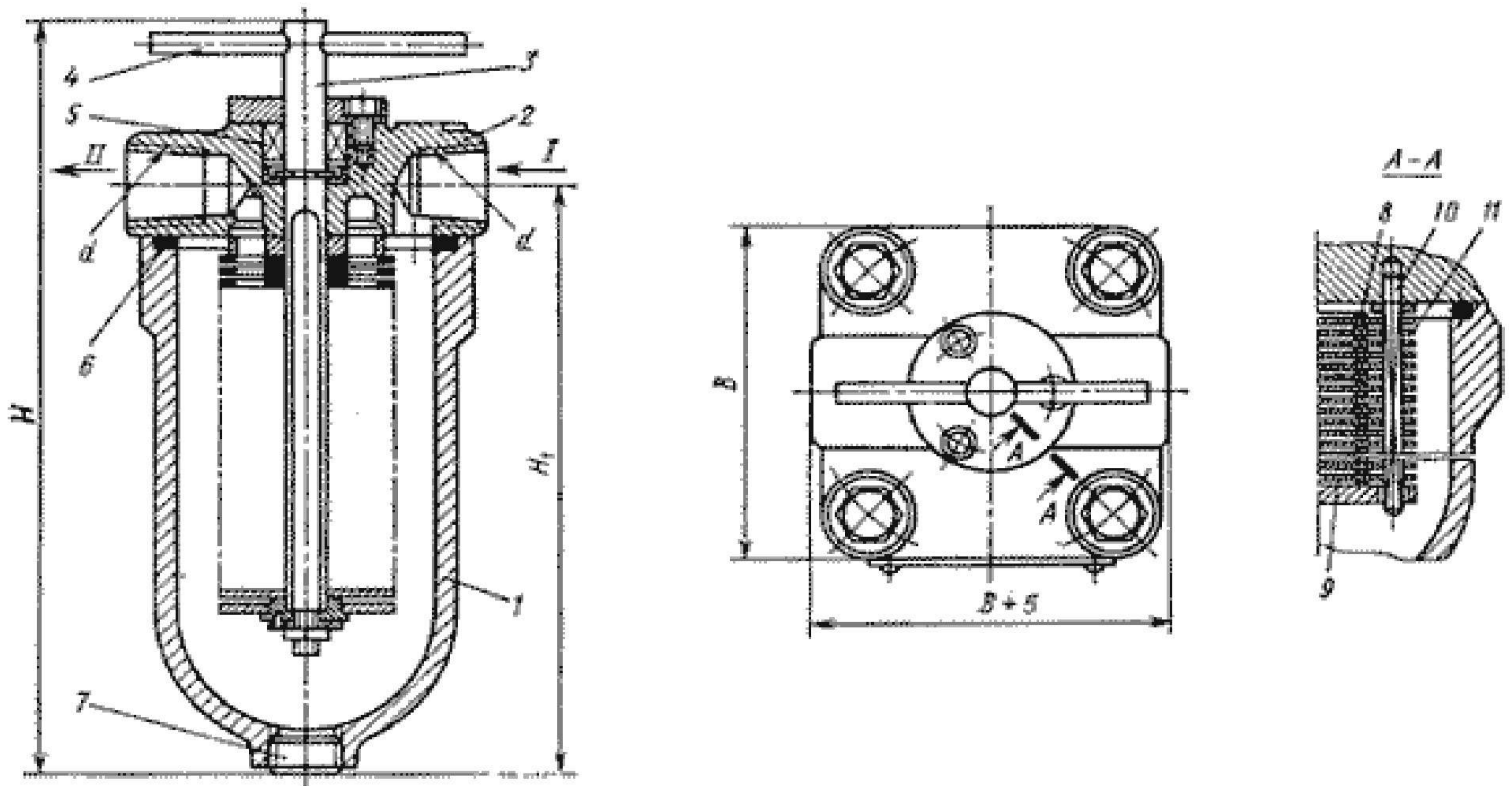


Рис.2.10 Фільтр щілинний 40-80-1

Зворотний клапан Г51-33 (ТУ2-053-1649-83Е) складається з корпуса 1, до конічного сидла якого пробкою 5 через пружину 4 притиснутий плунжер 3. Масло, що підводиться в отвір 7, піднімає плунжер і проходить у відповідний отвір 2. При зміні напрямку плинну тиск масла в отворі 2 (і порожнини 6) разом із пружиною 4 щільно притискає плунжер до сидла, крім можливості зворотного потоку.

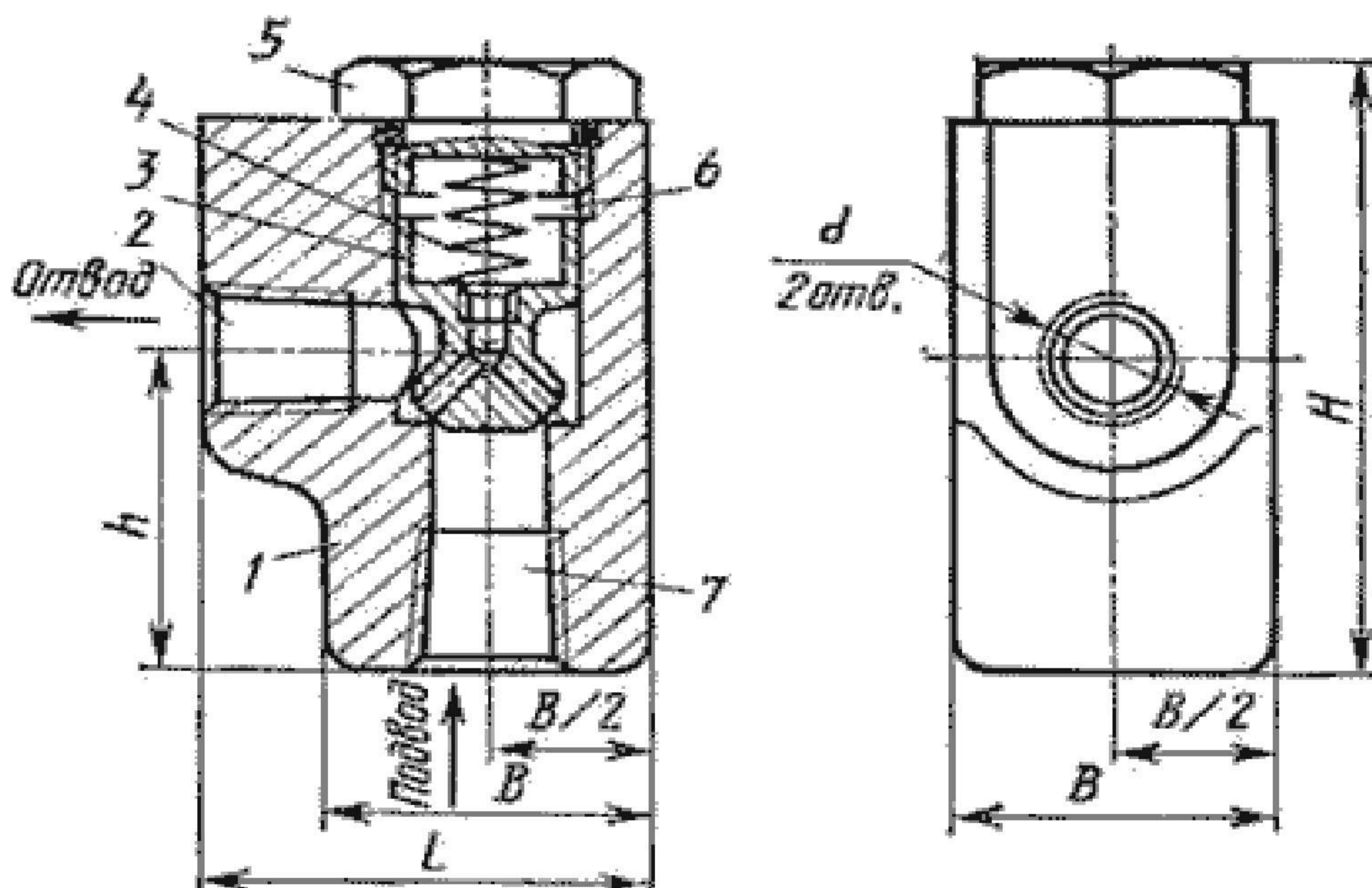


Рис.2.11 Зворотний клапан Г51-33

Визначення дійсних перепадів тисків

При визначенні перепадів тисків виходять із витрат, на які розрахована гідроапаратура. Дійсні витрати відрізняються від довідкових. Тому необхідно уточнити значення перепадів тисків.

Перепади тисків на золотнику можна знайти з виразів:

$$\Delta P_{\text{зол1}} = \Delta P^*_{\text{зол1}} \left(\frac{Q_{\text{ц1}}}{Q^*_{\text{зол}}} \right)^2 \text{ та } \Delta P_{\text{зол2}} = \Delta P^*_{\text{зол1}} \left(\frac{Q_{\text{ц2}}}{Q^*_{\text{зол}}} \right)^2 \quad (2.14)$$

де $\Delta P^*_{\text{зол}}$ - перепад тисків на золотнику при витраті $Q^*_{\text{зол}}$; $Q_{\text{ц1}}$ - витрата рідини в порожнину нагнітання циліндра; $Q_{\text{ц2}}$ - витрата рідини з порожнини зливу.

Визначимо витрата $Q_{\text{ц2}}$ рідини, що впливає зі штокової порожнини

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{зол2}} &= \Delta P^*_{\text{зол1}} \left(\frac{Q_{\text{ц2}}}{Q^*_{\text{зол}}} \right)^2 Q_{\text{ц2}} = \frac{Q_{\text{ц1}}(D^2 - d^2)}{D^2} = \frac{0,475 \cdot 10^{-3}(0,110^2 - 0,050^2)}{0,110^2} = \\ &= 0,377 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 22,62 \text{ л/хв.} \end{aligned}$$

Визначимо перепади тисків

$$\Delta P_{\text{зол1}} = 0,22 \left(\frac{28,5}{33} \right)^2 = 0,164 \text{ МПа,}$$

$$\Delta P_{\text{зол2}} = 0,22 \left(\frac{22,62}{33} \right)^2 = 0,103 \text{ МПа.}$$

Аналогічно можуть бути уточнені значення ΔP і для іншої гідроапаратури. При підрахунку перепаду тиску на фільтрі відношення $Q_{\text{ц2}} / Q^*_{\text{ф}}$ підставляти потрібно в першому ступені, тому що режим руху рідини у фільтрі ламінарний:

$$\Delta P_{\text{ф}} = \Delta P^*_{\text{ф}} \frac{Q_{\text{ц2}}}{Q^*_{\text{ф}}} = 0,1 \frac{22,62}{40} = 0,057 \text{ МПа.}$$

Для визначення дійсних перепадів тиску в трубах спочатку визначимо середню швидкість руху рідини в зливальній магістралі l_2

$$v_{\text{рж2}} = \frac{4 \cdot Q_{\text{ц2}}}{\pi \cdot d_T^2} = \frac{4 \cdot 0,377 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,016^2} = 1,88 \text{ м/с.}$$

Далі визначимо числа Рейнольда

$$R_{e1} = \frac{v_{PЖ1} \cdot d_T}{\nu} = \frac{2,36 \cdot 0,016}{0,59 \cdot 10^{-4}} = 640,$$

$$R_{e2} = \frac{v_{PЖ2} \cdot d_T}{\nu} = \frac{1,88 \cdot 0,016}{0,59 \cdot 10^{-4}} = 509.$$

де ν - кінематична в'язкість масла, яка визначається по формулі:

$$\nu = \nu_{50^\circ} \left(\frac{50}{T_M} \right)^n = 0,95 \cdot 10^{-4} \left(\frac{50}{60} \right)^{2,6} = 0,59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с},$$

де: ν_{50° - кінематична в'язкість індустріального масла И-100, $\text{м}^2/\text{с}$;

T_M - температура мастила, $^\circ\text{C}$;

n - показник ступеня, що залежить від ν_{50° .

Оскільки Re_1 і Re_2 менше критичного числа, режим плин у трубах ламінарний, тому коефіцієнт гідравлічного опору визначимо по формулі:

$$\lambda = \frac{75}{R_e},$$

$$\lambda_1 = \frac{75}{R_{e1}} = \frac{75}{640} = 0,117,$$

$$\lambda_2 = \frac{75}{R_{e2}} = \frac{75}{509} = 0,147.$$

Визначивши коефіцієнти гідравлічного тертя λ , знаходимо перепади тисків у трубах:

$$\Delta R_1 = \rho \cdot \lambda_1 \frac{l_1}{d_T} \cdot \frac{v_{PЖ1}^2}{2} = 920 \cdot 0,117 \frac{9}{0,016} \cdot \frac{2,36^2}{2} = 0,17 \text{ МПа},$$

$$\Delta R_2 = \rho \cdot \lambda_2 \frac{l_2}{d_T} \cdot \frac{v_{PЖ2}^2}{2} = 920 \cdot 0,147 \frac{4}{0,016} \cdot \frac{1,88^2}{2} = 0,06 \text{ МПа},$$

де ρ - щільність робочої рідини, для И-100 $\rho = 920 \text{ кг/м}^3$;

λ_1 і λ_2 - коефіцієнт гідравлічного тертя для напірної й зливальної гідро лінії відповідно.

Оскільки перепади тисків на дроселі залежать від ступеня його відкриття, то залишимо їхніми такими ж, як і раніше $\Delta R_{др1} = \Delta R_{др2} = 0,25 \text{ МПа}$. По уточнених перепадах тисків знаходимо перепад тисків у порожнинах

силового гідроциліндра:

$$P_2 = \Delta P_{др} + \Delta P_{зол 2} + \Delta P_{ф} + \Delta P_2 \quad (2.15)$$

$$P_2 = 0,25 + 0,103 + 0,057 + 0,06 = 0,47 \text{ МПа}$$

По формулі визначимо P_1

$$P_1 = \frac{P_2 \cdot F_2 + R + T}{F_1} = \frac{0,47 \cdot 10^6 \cdot 7,54 \cdot 10^{-3} + 47000 + 3760}{9,5 \cdot 10^{-3}} = 5,7 \text{ МПа},$$

і уточнимо тиск, що розвивається насосом

$$P_H = P_1 + \Delta P_{зол 1} + \Delta P_1 \quad (2.16)$$

$$P_H = 5,7 + 0,164 + 0,17 = 6,034 \text{ МПа}.$$

Визначення ККД гідроприводу

Визначимо ККД гідроприводу, враховуючи, що він працює при постійнім навантаженні. Загальний ККД проектованого гідроприводу, що працює при постійнім навантаженні визначимо по формулі

$$\eta_{заг} = \frac{N_{пол}}{N_{пр}} \quad (2.17)$$

де $N_{пр}$ - затрачувана потужність приводу (насосної установки).

$$N_{пр} = \frac{Q_H \cdot P_H}{\eta} \quad (2.18)$$

де η - загальний ККД насоса при розрахункових значеннях тиску, витрати, в'язкості робочої рідини й частоти обертання приводного вала насоса;

$N_{пол}$ - корисна потужність приводу, яка визначається по заданих навантаженнях і швидкостям гідро двигунів: для приводу з гідроциліндром.

$$N_{пол} = R \cdot v_{пр} \cdot z = 47 \cdot 0,05 \cdot 2 = 4,7 \text{ кВт},$$

де z - число силових циліндрів, включених у привід.

$$N_{пр} = \frac{Q_H \cdot P_H}{\eta} = \frac{1,058 \cdot 10^{-3} \cdot 6,034 \cdot 10^6}{0,82} = 7,8 \text{ кВт},$$

$$\eta_{заг} = \frac{N_{пол}}{N_{пр}} = \frac{4,7}{7,8} = 0,6.$$

Загальний ККД проектованого гідроприводу $\eta_{общ} = 0,6$. Причина такого низького ККД полягає в тому, що в схему включено силові гідроциліндри з

великою силою тертя.

Проведемо розрахунки обсягу гідро бака.

Визначимо втрати потужності в гідроприводі, що переходять у тепло, знайшовши різницю між затрачуваною потужністю й корисної

$$\Delta N = N_{\text{пр}} - N_{\text{пол}} = 7,8 - 4,7 = 3,1 \text{ кВт.}$$

Кількість тепла $E_{\text{пр}}$, виділюване в гідроприводі в одиницю часу потужності, що еквівалентно губиться в гідроприводі, ΔN

$$E_{\text{пр}} \equiv \Delta N, \text{ тобто } E_{\text{пр}} = 3,1 \text{ кВт.}$$

Перепад температур між робочою рідиною й навколишнім повітрям:

$$\Delta T = T_M - T_O = 60 - 14 = 46^\circ\text{C.}$$

Площа поверхні теплообміну, необхідна для підтримки перепаду $\Delta T_{\text{уст}} \leq \Delta T$

$$S_{\text{нов}} \geq \frac{E_{\text{пр}}}{K_{\text{б}} \cdot K_{\text{тр}} \cdot \Delta T} \quad (2.18)$$

де $K_{\text{тр}}$ і $K_{\text{б}}$ - коефіцієнти теплопередачі труб і гідро бака, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Прийmemo $K_{\text{тр}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ и $K_{\text{б}} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, тоді

$$S_{\text{нов}} = \frac{3,1 \cdot 10^3}{8 \cdot 12 \cdot 46} = 0,701 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні теплообміну складається з поверхні труб $S_{\text{тр}}$, через які відбувається теплообмін з навколишнім середовищем, і поверхні тепловіддачі бака $S_{\text{б}}$

$$S_{\text{пов}} = S_{\text{тр}} + S_{\text{б}} \quad (2.19)$$

Визначимо площу поверхні труб

$$S_{\text{тр}} = \pi \cdot d(l_1 + l_2) = 3,14 \cdot 0,016(9 + 4) = 0,653 \text{ м}^2,$$

$$S_{\text{б}} = S_{\text{нов}} - S_{\text{тр}} = 0,701 - 0,653 = 0,048 \text{ м}^2.$$

Знайшовши площу поверхні гідробака, визначимо його обсяг $V_{\text{б}}$ і округлимо до стандартного значення в більшу сторону, згідно з рекомендаціями по проектуванню гідроприводу, обсяг гідробака повинен бути в три рази більше обсягу масла, що перебуває в трубопроводах і гідроапаратах системи.

Визначимо обсяг робочої рідини, що перебуває в гідросистемі. Обсяг масла в трубах

$$V_{\text{труб}} = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} (l_1 + l_1) = \frac{3,14 \cdot 0,016^2}{4} (9 + 4) = 20,6 \text{ л.}$$

Обсяг масла в гідроциліндрі дорівнює:

$$V_{\text{ГЦ}} = 2 F_1 S = 2 \cdot 9,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 0,095 \text{ м}^3.$$

Обсяг масла в гідронасосі рівний його робочому обсягу

$$V_{\text{Н}} = q = 0,8 \text{ л.}$$

Обсяг масла у фільтрі можна приблизно порахувати виходячи з геометричних розмірів обраного фільтра. Склянка фільтра має циліндричну форму діаметром 110 мм і висотою 205 мм. Пластини займають приблизно 60% внутрішнього обсягу фільтра. Виходячи із цих геометричних характеристик обсяг масла, що заповнює фільтр рівно

Обсягом масла, що перебуває в гідро розподільнику, дроселях і зворотних клапанах можна зневажити.

Таким чином, обсяг робочої рідини, що перебуває в гідросистемі рівний

$$V = V_{\text{труб}} + V_{\text{ГЦ}} + V_{\text{Н}} + V_{\text{Ф}} = 20,61 + 9,5 + 0,08 + 0,8 = 31,99 \text{ л.}$$

Тоді обсяг бака дорівнює $V_{\text{б}} = 5V = 5 \cdot 31 = 155 \text{ л}$, а округляючи його до стандартного значення обсягу за ДСТ 12448-80 приймемо обсяг бака $V_{\text{б}} = 180 \text{ літрів}$.

Побудова навантажувальної характеристики гідроприводу.

Навантажувальна характеристика гідроприводу виражає залежність швидкості руху вихідної ланки від навантаження на ньому. Стосовно до схеми проєктованого гідроприводу знайдемо перепад тисків на дроселі.

Використовуючи вираження (2.1) і (2.2), складемо систему рівнянь

$$\begin{cases} P_1 \cdot F_1 = P_2 \cdot F_2 + R + T \\ P_1 = P_{\text{Н}} - \Delta P_{\text{зол1}} - \Delta P_1 \\ P_2 = \Delta P_{\text{зол2}} + \Delta P_2 + \Delta P_{\text{ДР}} + \Delta P_{\text{Ф}} \end{cases}$$

та, вирішуючи ці рівняння відносно $\Delta P_{\text{ДР}}$, одержимо:

$$\begin{aligned} \Delta P_{др} &= (P_H - \Delta P_{зол1} - \Delta P_1) \frac{F_1}{F_2} - \frac{R+T}{F_2} - \Delta P_{зол2} - \Delta P_2 - \Delta P_\phi = \\ &= (6,034 - 0,164 - 0,17) \frac{9,5 \cdot 10^{-3}}{7,54 \cdot 10^{-3}} - \frac{47000 + 3760}{7,54 \cdot 10^{-3}} - 0,103 - 0,057 - 0,06 = 0,25 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Визначимо площу прохідного перетину в дроселі по формулі:

$$F_{др} = \frac{v_{np} \cdot F_2}{\mu \sqrt{2 \frac{\Delta P_{др}}{\rho}}} \quad (2.20)$$

де μ - коефіцієнт витрати дроселя, для дроселів золотникового типу $\mu = 0,4$ [2].

$$F_{др} = \frac{0,05 \cdot 7,54 \cdot 10^{-3}}{0,4 \sqrt{2 \frac{0,25 \cdot 10^6}{920}}} = 40,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Далі для побудови силової характеристики приводу задамося рядом значень R і з вираження визначимо $\Delta P_{др}$. Для цих значень $\Delta P_{др}$, знайдемо швидкості переміщення поршня

$$v_{п} = \mu \frac{F_{др}}{F_2} \sqrt{2 \frac{\Delta P_{др}}{\rho}}.$$

Величину R слід змінювати від нуля до максимального значення R_{\max} , при яким швидкість переміщення поршня дорівнює нулю. Усі обчислення зведемо в табл.2.4

Таблиця 2.4 Технологічні характеристики гідроциліндра

R, кН	$\Delta P_{др}$, МПа	$v_{п}$, м/с
0	6481	0,255
10	5,160	0,227
20	3,829	0,196
30	2,500	0,158
40	1,180	0,108
45	0,510	0,072
47	0,250	0,050
48	0,120	0,035

R, кН	$\Delta P_{др}$, МПа	$v_{п}$, м/с
48,5	0,050	0,022
48,8	0,010	0,010
48,87	0	0

За даними обчислень будується графік $v_{п} = f(R)$ (рис.2.12).

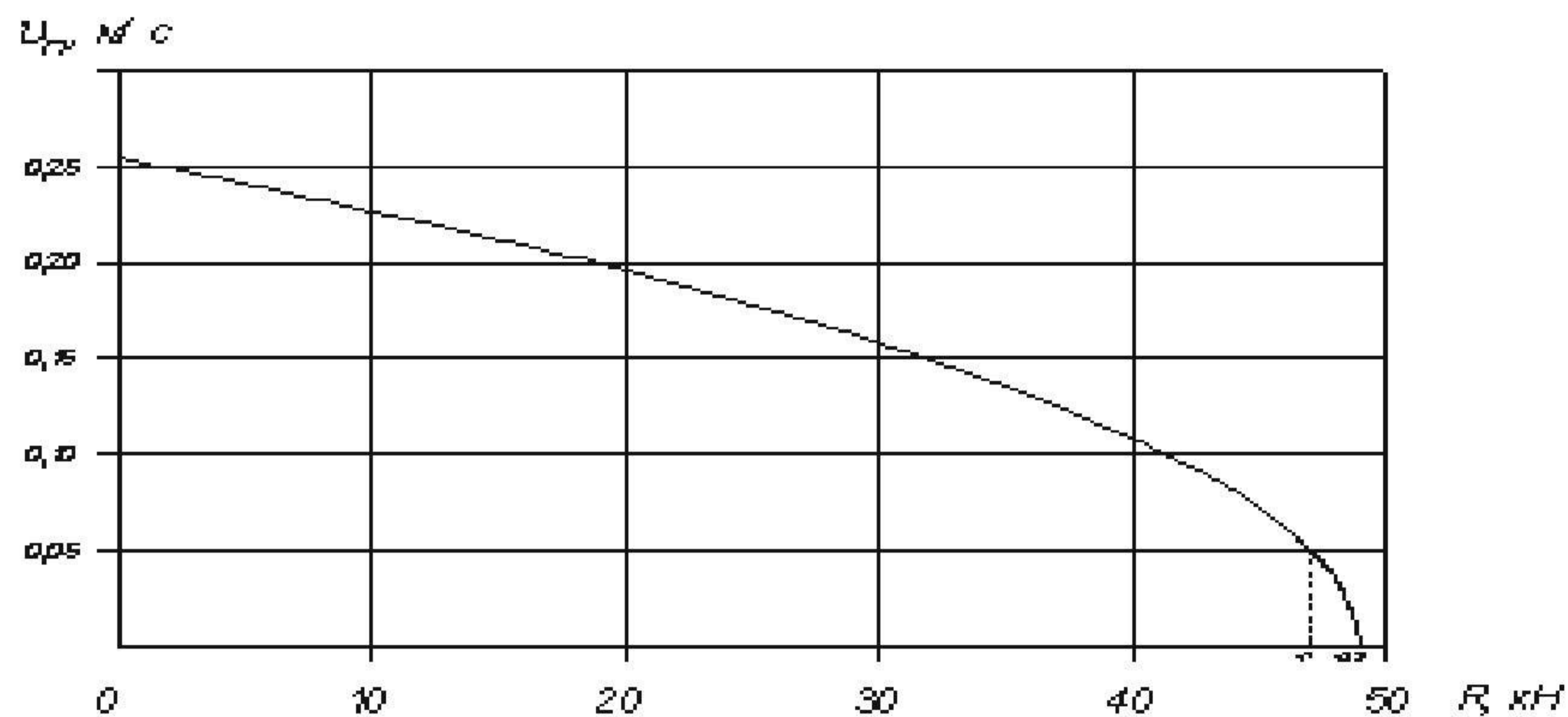


Рис.2.12 Навантажувальна характеристика

2.3 Технологія монтажу колошникових пристроїв доменної печі

Надійна робота вузла «великий конус-чаша» та з'єднання з гідроциліндром залежить від положення центру тяжіння конуса, який повинен знаходитися на геометричній осі конуса. Якщо центр тяжіння зміщений (конус статично не урівноважений), то в початковий момент в контакт з чашею вступає легка сторона конуса, а після його повороту важка сторона ударяє в чашу. Питомий тиск на майданчиках фактичних контактах при цьому можуть бути значно вище за допустимий, що призводить до швидкого зносу в контактній поверхні. Для усунення таких явищ застосовують статичне балансування (рис. 2.13). великий конус 2 підвішують над горизонтальною плитою 1 на підвісці 3, що дозволяє йому гойдатися в двох взаємно перпендикулярних площинах. Аналіз розподілу зазорів s_i , виміряних в чотирьох точках діаметрів 1-3, 2-4 (рис.2.13 в), дає можливість встановити наявність або відсутність статичної неурівноваженості. При $s_1=s_2=s_3=s_4$ конус урівноважений.

Якщо $s_1 \neq s_3$, $s_2 \neq s_4$, то не врівноваженість конуса виявляється в площинах x і y , кожен з яких балансують роздільно. Площину x балансують таким чином. Вісь конуса поєднують з вертикаллю і в довільній точці e кріплять вантаж P такої величини, щоб конус був дещо неврівноважений (рис.2.13, а). рівняння рівноваги я записується як:

$$M_{F0}=0 \quad (2.21)$$

Або

$$G_{rc} \sin(\beta_c - \beta) - P_{re} \sin(\beta_e + \beta) - (G+P)f \cdot d/2 = 0, \quad (2.22)$$

де $G=7000\text{кг}$ - вага великого конуса;

$r_c=2000\text{мм}$ $r_e=2500\text{мм}$ - відстань від осі обертання O точок c і e ;

$f=0,9$ - коефіцієнт опору в опорі;

$d=50\text{мм}$ - діаметр осі опори.

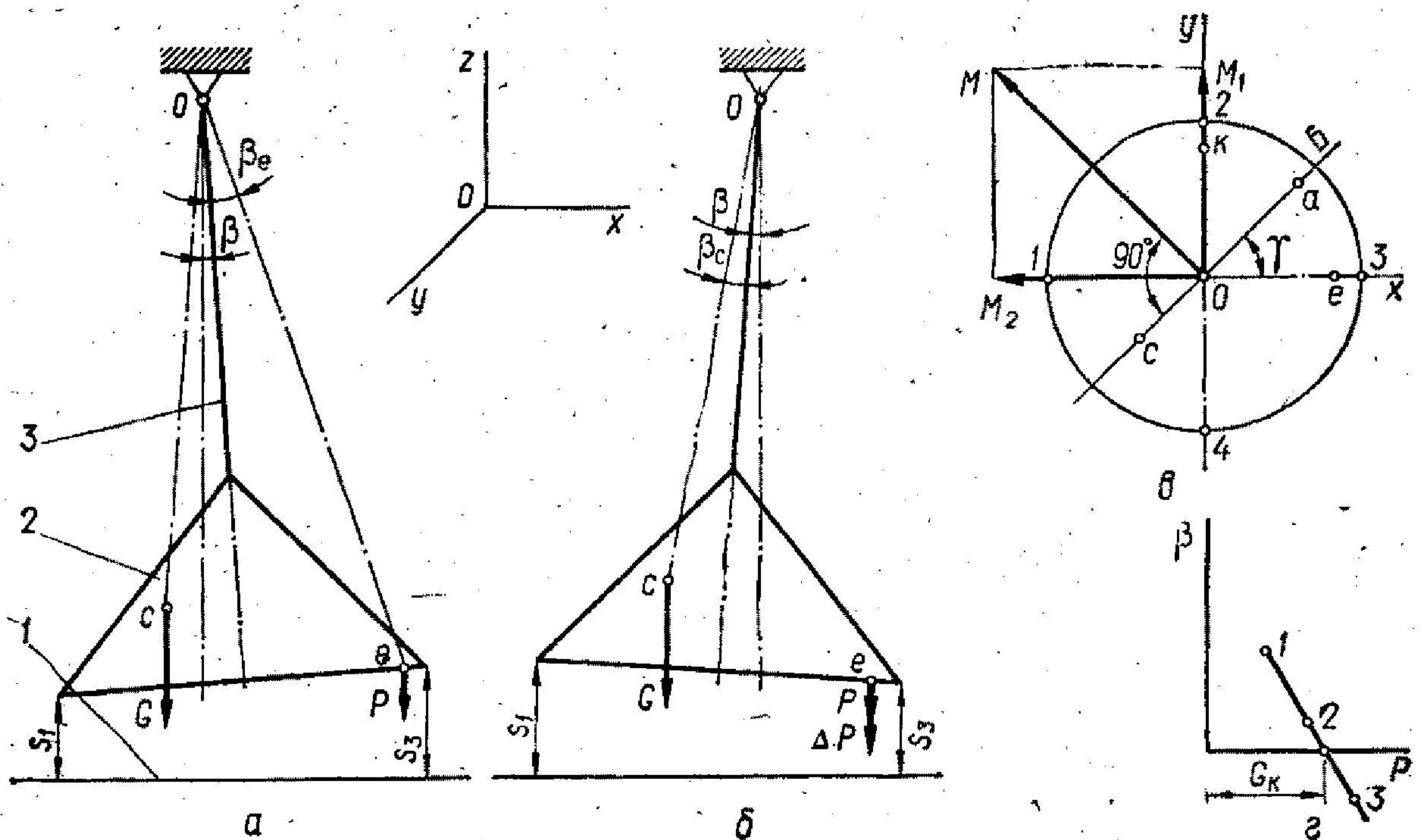


Рис.2.13 Схеми статичного балансування більшого конуса

Другий дослід полягає в підборі додаткового вантажу ΔP такої величини, щоб конус був дещо переурівноважений (рис. 2.13, б). Рівняння в цьому випадку буде:

$$\sum M_{F0}=0 \quad (2.23)$$

або

$$-G_{rc}\sin(\beta_c-\beta)+(P+\Delta P)_{re}\sin(\beta_e-\beta)-(G+P+\Delta P)f*d/2=0 \quad (2.24)$$

Неврівноваженість конуса визначаються кутом β , який виміряють непрямым способом по величині зазорів

$$\sin\beta=(s_3-s_1)/d, \quad (2.25)$$

де $D=2500$ мм - діаметр основи конуса.

Звичайно $\beta_e=(28-30)^\circ$, $\beta_c=(30-50)^\circ$, $\beta=(2-5)^\circ$. Тоді рівняння рівноваги конуса записується наступним чином:

$$G_{rc}\cdot\sin\beta_c-P\cdot re\sin\beta_e-(G+P)f*d/2=0 \quad (2.26)$$

$$7000*2000*\sin30^\circ/P2500\sin30^\circ-(7000+P)*0,9*50/2=0$$

$$7000*2000*0,008-P2500*0,5-(7000+P)*0,9*50/2=0$$

$$P=-35,75 \text{ кг.}$$

Перевірка:

$$7000*2000*0,008-(-35,75)*2500*0,5-(7000-35,75)*0,9*50/2=0$$

$$-G_{rc}\sin\beta_c+(P-\Delta P)_{re}\sin\beta_e+(G+P+\Delta P)f*d/2=0 \quad (2.27)$$

$$-7000*2000*\sin30^\circ+(-35,75-\Delta P)*2500\sin30^\circ+(7000+(-35,75)+\Delta P)*0,9*50/2=0$$

$$-7000*2000*0,008+(-35,75-\Delta P)*2500*0,5+(7000+(-35,75)+\Delta P)*0,9*50/2=0$$

$$\Delta P=0,006 \text{ кг.}$$

Перевірка:

$$7000*2000*0,008+(-35,75-0,006)*2500*0,5=(7000-35,75+0,006)*0,9*50/2=0$$

Отже, для статичного врівноваження конуса в площині x_0 необхідно в точці e зміцнити компенсаційний вантаж $G_{1к}$, котрий розраховується по формулі

$$G_{1к}=P + \frac{\Delta P}{2} \quad (2.28)$$

$$G_{1к}=(-35,75)+0,003=35,747 \text{ кг.}$$

Виконавши статичне балансування в площині, знайдемо величину другого компенсаційного вантажу $G_{2к}=(-35,75)+0,003=35,747$ кг. Його слід укріпити в точці k (рис.2.13,в).

Замість двох вантажів $G_{1к}$, $G_{2к}$ можна закріпити один компенсаційний вантаж G_k в довільній точці a площини B . Для визначення величини G_k і

положення цієї площини скористаємося теоремою з курсу теоретичної механіки: будь-яка система пар, що діють на тверде тіло, еквівалентна одній парі з моментом, рівним геометричній сумі моментів пар:

$$M = M_1 + M_2, \quad (2.29)$$

де M_1, M_2 - моменти, що утворюються вантажами $G_{1к}, G_{2к}$ у площинах x_0 і y_0 ;

M - момент, що утворюється вантажем G_k в площині Б.

Компенсаційний вантаж

$$G_k = \frac{\sqrt{(G_{1к} h_1)^2 + (G_{2к} + h_2)^2}}{h_a} \quad (2.30)$$

В цій формулі $h_1=0e$; $h_2=0k$; $h_a=0a$.

$$G_k = \frac{\sqrt{(35,747 * 2500)^2 + (35,747 * 2500)^2}}{2500} = 2,527 \text{ кг.}$$

Положення площини Б визначається кутом $\text{tg}\gamma = M_2/M_1$.

Величину компенсаційних вантажів $G_{1к}, G_{2к}$ можна визначити і методом спроб. У точці е послідовно закріплюємо вантажі P_1, P_2, \dots, P_n так, щоб знак кута β змінився на протилежний. Вимірюючи кути $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$, отримаємо залежність $\beta=f(P)$, показаний на рис.3.4, г. Якщо $\beta=0$, то $P=G_k$. конус вважається урівноваженим при $S_3-S_1 \leq 1 \text{ мм}$, $S_4-S_2 \leq 1 \text{ мм}$.

Щільність прилягання більшого конуса до чаші перевіряють таким чином. Після статичного балансування великий конус опускають на плиту, а нього встановлюють чашу, виварену в горизонтальній площині За допомогою щупа або води перевіряють зазори по контактній поверхні. Для доменних печей знадмірним тиском більше 0,1 МПа допускається просочування води (інтервал падіння не менше 10 с), а для печей, що працюють з надмірним тиском менше 0,1 МПа, місцева нещільність, не повинні перевищувати 0,03 мм.

Аналогічно перевіряють щільність прилягання малого конуса до воронки, що обертається. Якщо щільність прилягання задовольняє вимогам, то на конус і чашу наносять мітки, що визначають їх взаємо положення на колошнику печі. Крім того, на фланці чаші фіксують вісь похилого моста і перпендикулярно їй допоміжну вісь, точку перетину яких використовують при

монтажі для вивіряння чаші відносно осі доменної печі. По осі похилого моста вивіряють вузол «чаша - большой конус» відносно осі скіпового підйомника. На монтажному майданчику контролюють паралельність і співвісність фланців газових затворів. Для перевірки паралельності газовий затвор нижнім фланцем ставлять на горизонтальну плиту, а горизонтальність верхнього визначають перевіркою лінійкою і рівнем. Фланці будуть співвісні, якщо їх центри, зафіксовані двома перпендикулярними струнами, знаходяться на одній вертикалі. Не паралельність не повинна перевищувати 0,1 мм на діаметрі верхнього фланця, а не співвісність - 2 мм. Прямолінійність штанг і підвісок перевіряють на токарних верстатах, а сполучення штанг з конусами – за допомогою фарби. Допускаються відхилення штанги більшого конуса не більше 2 мм на всю довжину, а підвісок - до 0,2 мм на 1 м. довжини. Площа контакту штанг з посадочними місцями конусів повинна складати не менше 70% номінальної площі.

Таким чином, якість монтажу завантажувального пристрою оцінюють за двома показниками:

1. Поверхня, на яку спирається чаша, повинна бути горизонтальною. Різниця висотних відміток будь-яких двох точок цієї поверхні, розташованих під кутом 45° , не більше ± 2 мм.
2. Центр опорного кільця повинен лежати на основній робочій осі, що проходить через центр кільця .

Для забезпечення необхідних показників роботи завантажувального пристрою доменної печі з гідромеханічним приводом необхідно враховувати вимоги до монтажу та експлуатації та провести визначення граничних зміщень.

3. Дослідження гідроциліндрів маневрування конусами завантажувального пристрою доменної печі

3.1 Визначення вихідних параметрів та граничних умов

Гідроциліндри є найпростішими гідродвигунами, вихідна ланка (шток, плунжер) яких здійснює зворотно-поступальний рух. Вони відрізняються порівняно малими габаритами та масою, що передається на одиницю потужності, безступінчастим регулюванням швидкості, зручністю експлуатації, високим коефіцієнтом корисної дії та ін. позитивними факторами, які сприяють їхньому поширенню в різних галузях промисловості. Класифікація гідроциліндрів показано на рис. 3.1. За конструкцією робочої камери гідроциліндри поділяються на поршневі (рис. 3.1,а) та плунжерні (рис. 3.1,б), причому поршневі гідроциліндри по напрямку дії робочого середовища діляться на циліндри одно- і двосторонньої дії (рис. 3.1,в,а). Характерною особливістю гідроциліндра односторонньої дії є те, що зусилля на вихідній ланці (наприклад, штоку), що виникає при нагнітанні в робочу порожнину гідроциліндра рідини під тиском, може бути спрямоване лише в одну сторону (робочий хід). У протилежному напрямку вихідна ланка переміщається, витісняючи при цьому рідину з гідроциліндра лише під впливом зворотної пружини (рис. 3.1,в) або іншої зовнішньої сили, наприклад, сили тяжіння. Поршневі гідроциліндри односторонньої дії застосовують зазвичай у системах управління і для приводу деяких допоміжних механізмів. Гідроциліндри двосторонньої дії включають дві робочі порожнини, тому зусилля на вихідній ланці та її переміщення можуть бути спрямовані в обидві сторони залежно від того, в яку з порожнин нагнітається робоча рідина (протилежна порожнина при цьому з'єднується зі зливом). Гідроциліндри двосторонньої дії можуть бути з одним або двома штоками (рис. 3.1,д,г) з підведенням рідини через корпус кришки (рис. 3.1,в) або штока (рис. 3.1,д,е). 4

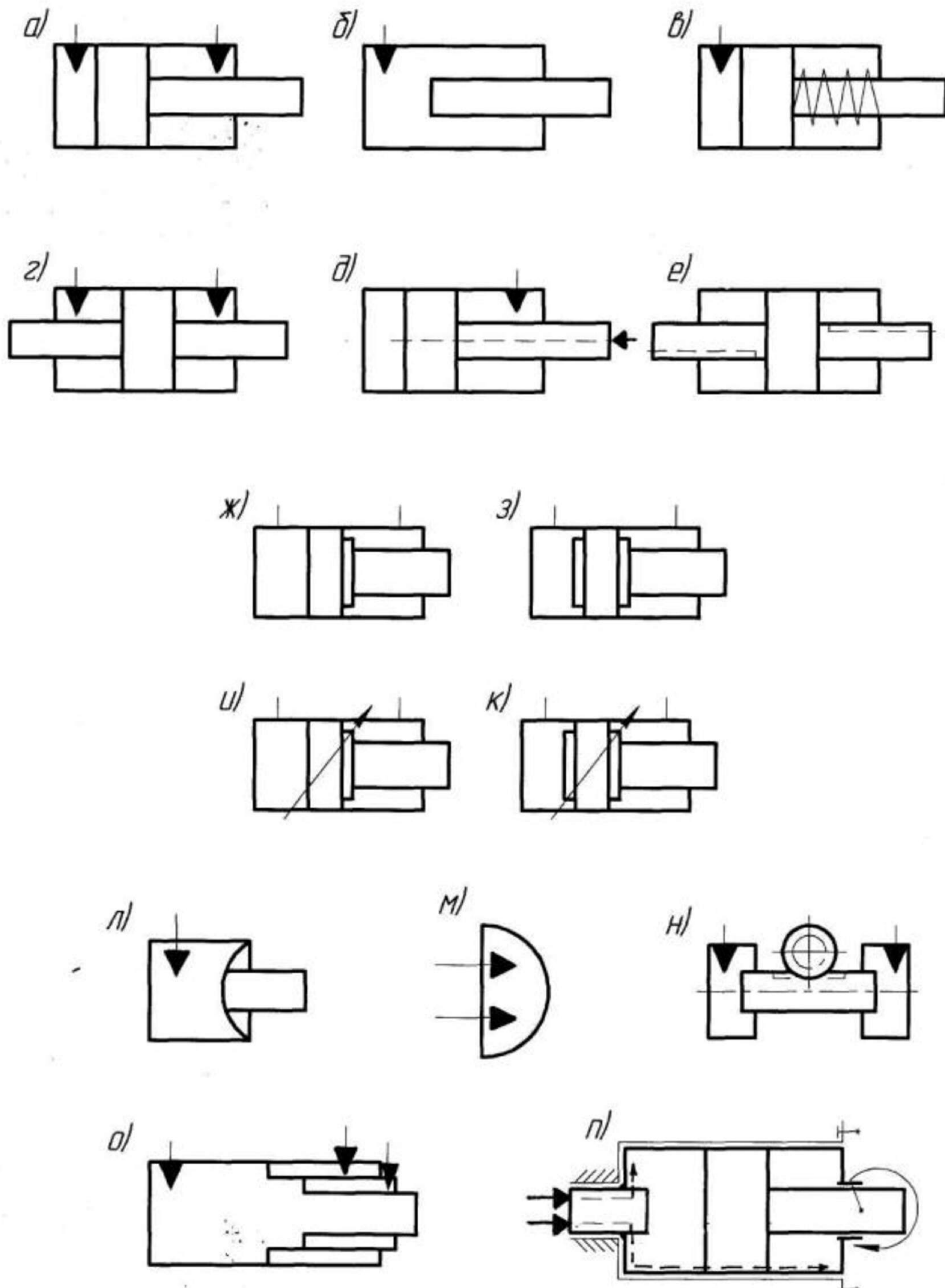


Рисунок 3.1. Умовні позначення гідроциліндрів

За способом гальмування гідроциліндри з лінійним переміщенням штока поділяються на циліндри з гальмуванням наприкінці ходу справа (рис. 3.1,ж), з обох сторін (рис. 3.1,з), з регульованим гальмуванням також наприкінці ходу (рис. 3.1,и) або з обох сторін (рис. 3.1,до). На рис. 3.1,л показаний гідроциліндр, у якого замість поршня застосовано мембрана, такі циліндри мають невеликий хід і застосовуються в автоматичних затискних

пристроях. У верстатах (рідко) для завантажувальних та подавальних пристроїв застосовують гідроциліндри (гідродвигуни) поворотної дії (рис. 3.1,м). Схема плунжерного гідродвигуна, що забезпечує однакову швидкість та граничну силу, наведена на рис. 3.1,н. Особливу групу становлять диференціальні, телескопічні (рис. 3.1,о) і гідроциліндри, що обертаються (рис. 3.1,п).

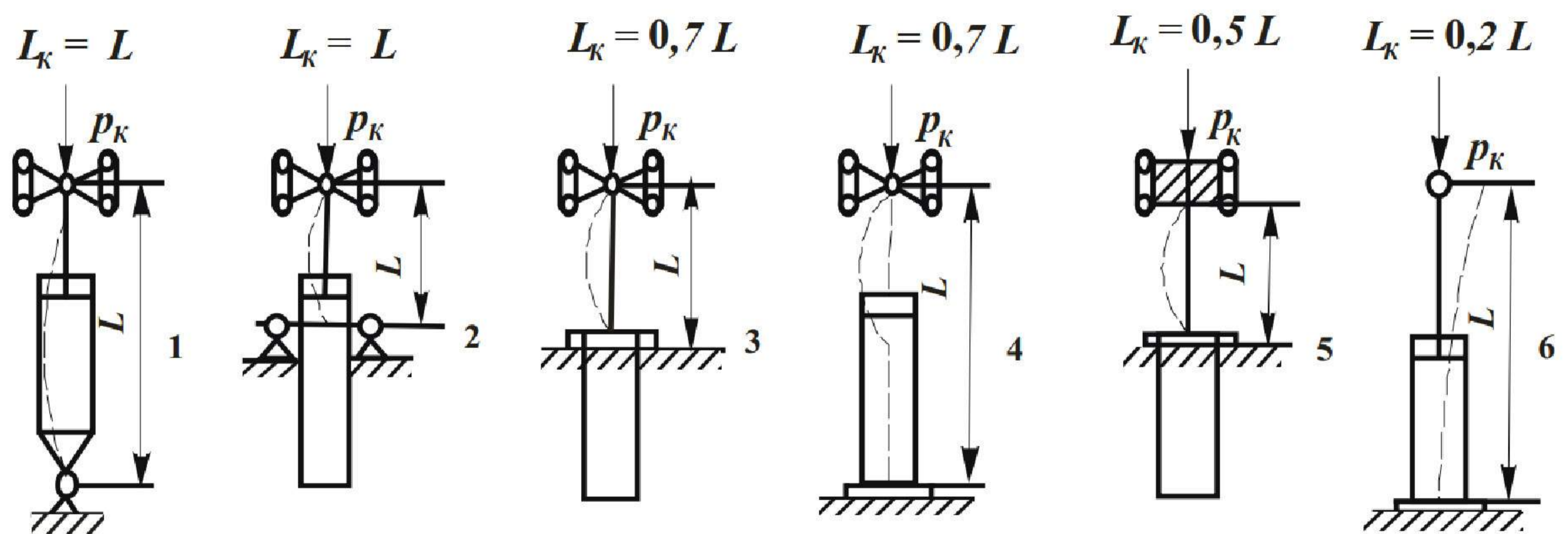


Рисунок 3.2. Розрахункові варіанти можливого кріплення гідроциліндра

Для надійної експлуатації гідроциліндра має виконуватись умова його стійкості, тобто при тимчасовому виході з прямолінійного стану, гідроциліндр в подальшому повернеться до нього після здійснення кількох циклів загасаючих коливань.

Здатність гідроциліндра стійко зберігати прямолінійну форму в рівновазі залежить від величини стискаючих сил (навантажень). При деякому досить великому значенні навантажень, прямолінійна форма рівноваги гідроциліндра виявиться втраченою ним назавжди (не повернеться до прямолінійного положення). Це значення навантаження, при якому вихідна прямолінійна форма рівноваги перестає бути стійкою (тобто відбувається втрата стійкості), називається критичним значенням навантаження. Якщо навантаження досягне критичного рівня, то гідроциліндр втратить стійкість і буде зруйнований.

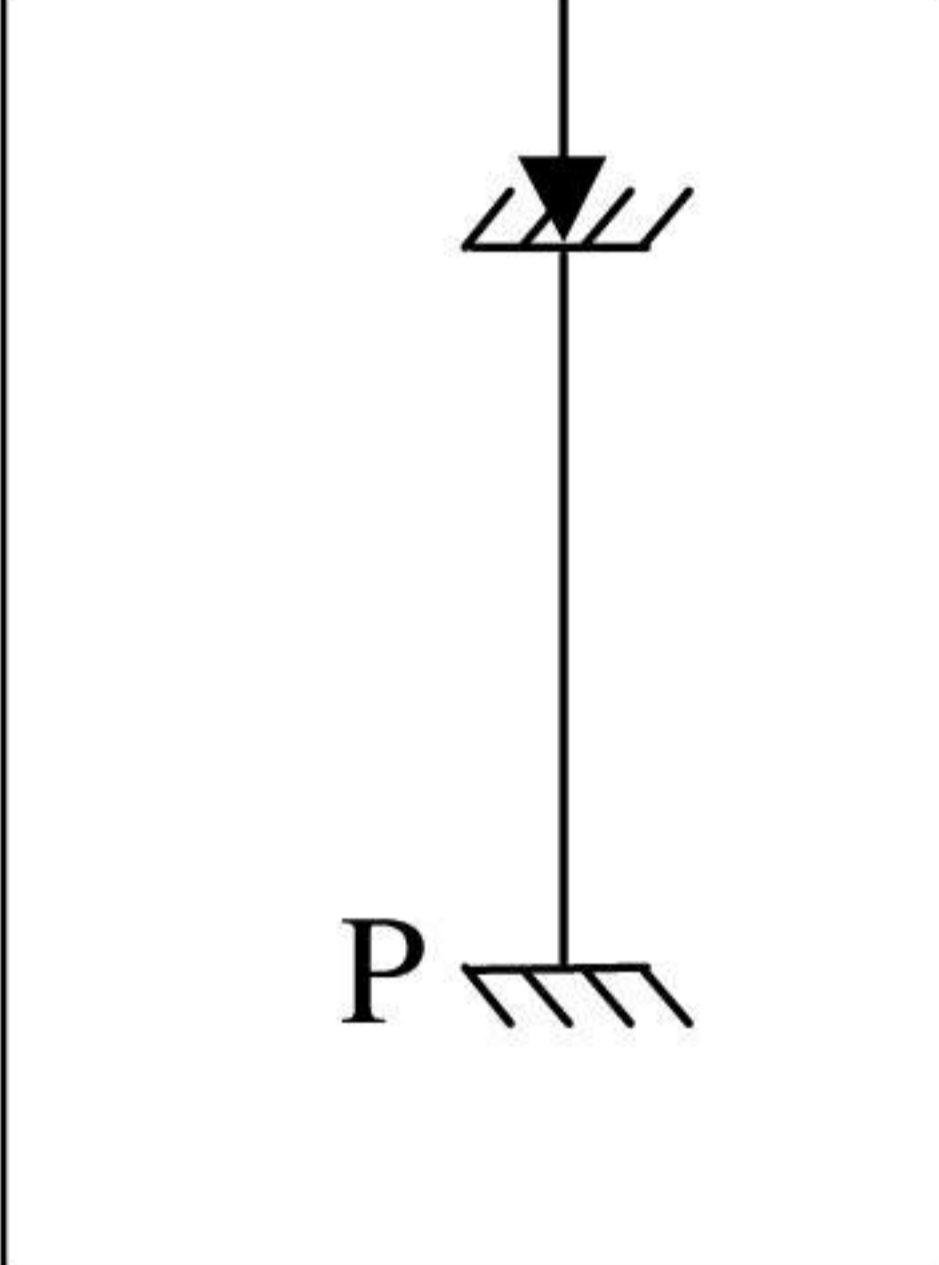
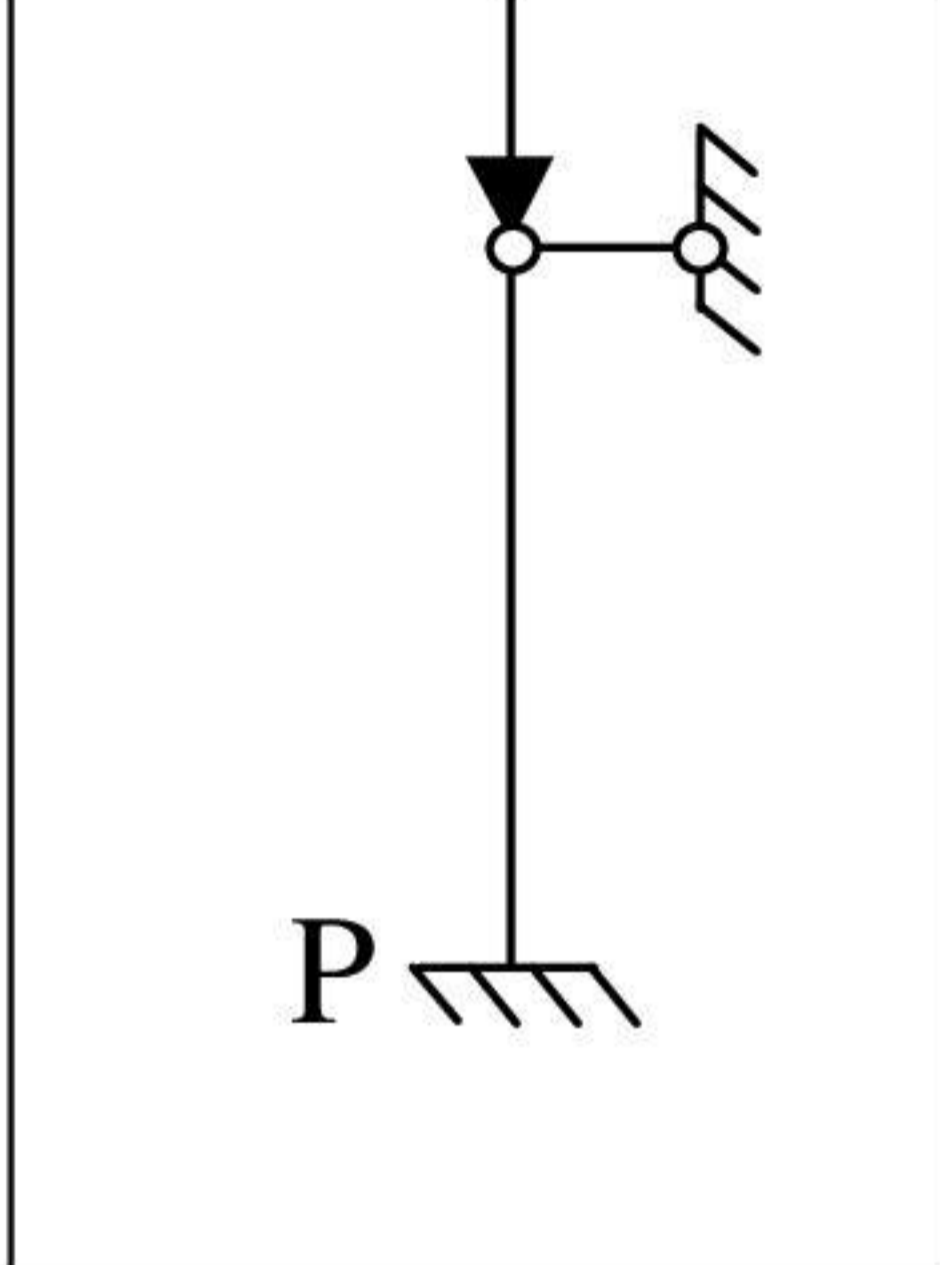
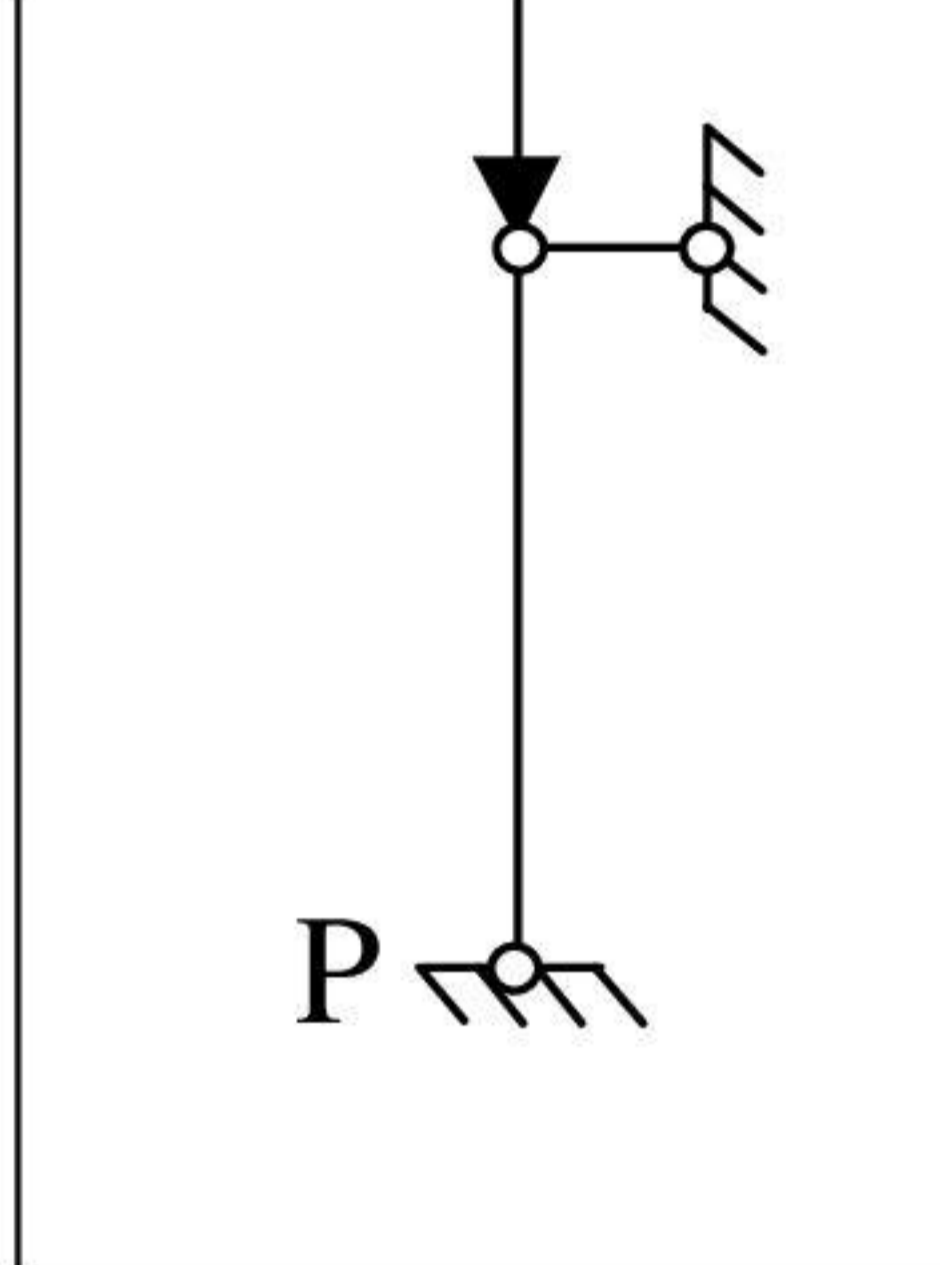
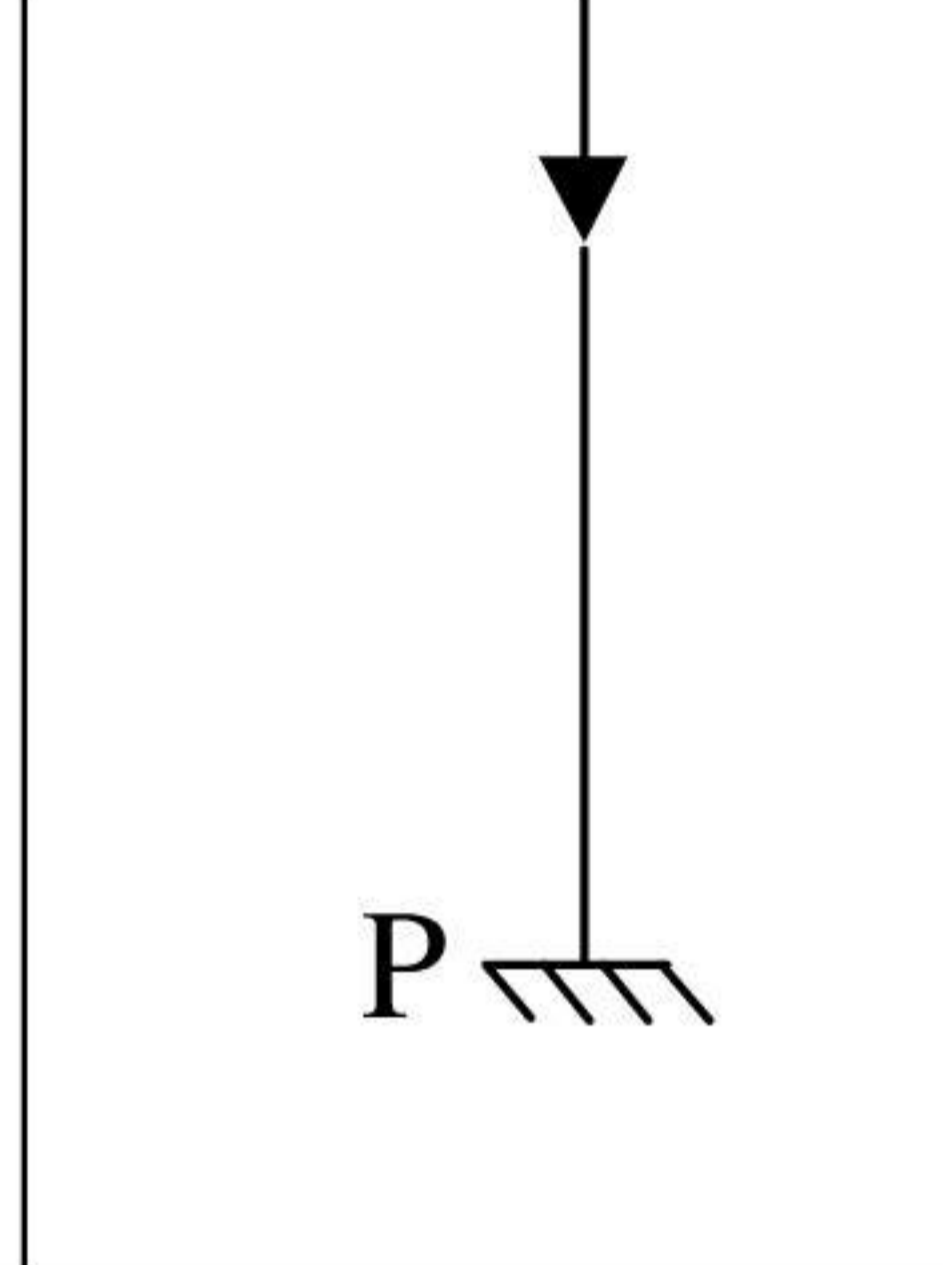
Величина критичної сили P_k для однопролітного стрижня,

навантаженого по кінцях центрально прикладеними силами, обчислюють за формулою Ейлера

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{(\mu \cdot l)^2} \quad (3.1)$$

де E – модуль поздовжньої пружності матеріалу, МПа; I_{min} – мінімальний момент інерції площі поперечного перерізу, m^2 ; l – довжина, м; μ – коефіцієнт, що враховує спосіб закріплення кінців (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Коефіцієнт μ приведення довжини гідроциліндра

	Вид			
Схема				
Коефіцієнт приведення	0,5	0,7	1,0	2,0
Оцінка стійкості бруса	висока	гарна	нормальна	низька

Критична напруга, що викликається силою P_k , визначається за формулою:

$$\sigma_k = \frac{P_k}{F} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad (3.2)$$

де $\lambda = (\mu \cdot l) / i_{min}$ гнучкість – узагальнена геометрична характеристика стійкості,

$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{F}}$ – мінімальний радіус інерції поперечного перерізу, м; F – площа поперечного перерізу, m^2 .

Формули (3.1) і (3.2) справедливі тільки при пружному стані матеріалу, тому необхідно ввести обмеження по гнучкості, менше якої гідроциліндр пластично деформується, при цьому його стійкість виявляється значно нижчою за розрахункову (тобто для «коротких, жорстких» гідроциліндрів

формули (3.1) і (3.2) не підходять, але такі гідроциліндри теж можуть втратити стійкість).

Мінімально допустиму гнучкість, для якої справедливі формули (3.1) і (3.2), визначають з формули (3.2), підставивши в неї замість напруги межу пропорційності матеріалу:

$$\lambda_{\text{гран}} \geq \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{\text{п}}}},$$

де $\sigma_{\text{п}}$ – межа пропорційності матеріалу, МПа.

Використання формули Ейлера для гідроциліндрів, гнучкість яких менша за граничну, вкрай небезпечно за своїми наслідками.

Для гідроциліндрів малої та середньої гнучкості ($\lambda < \lambda_{\text{гран}}$) розрахунок критичних напружень проводять за емпіричною залежністю Ф. С. Ясінського:

$$\sigma_{\text{кр}} = a - b \cdot \lambda, \quad (3.3)$$

де a, b – емпіричні коефіцієнти (табл.3.2).

Таблиця 3.2 Коефіцієнти a, b в залежності (3.3)

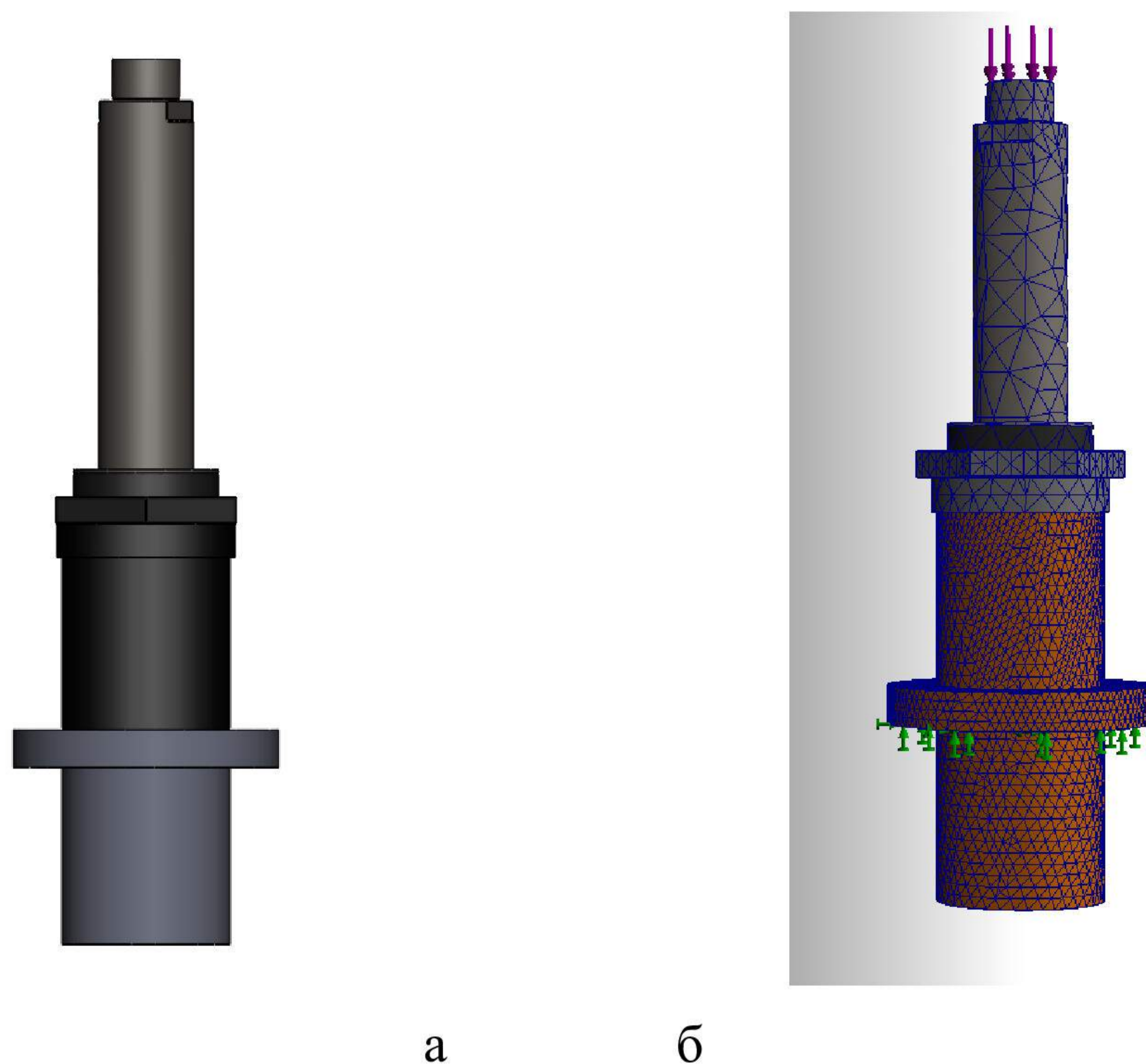
Матеріал	$\lambda_{\text{гран}}$	a	b
Ст2, Ст3	100	310	1,14
Ст5	100	464	3,26
Сталь40	90	321	1,16
Кремніста сталь	100	589	3,82
Чавун*	80	776	12,0

* – для чавуну використовують залежність $\sigma_{\text{кр}} = 776 - 12 \lambda + 0,053 \lambda^2$.

3.2 Дослідження напружень у гідроциліндрі з використанням імітаційного моделювання у програмному середовищі SolidWorks

В даний час для розрахунку обладнання на міцність застосовують як аналітичні методи розрахунку з використанням теорії опору матеріалів, так і програмні комплекси, засновані на застосуванні ЕОМ і методів кінцевих елементів. Сучасні методи дають можливість більш точно математично

описати напружено-деформований стан виходячи з конструктивних особливостей обладнання і концентраторів напружень. [5] Ефективність застосування способів моделювання і розрахунку за підтримки ЕОМ на стадіях розробки, проектування і виготовлення складних технічних систем вже ні у кого не викликає сумніву. Системи автоматизованого проектування CAD / CAE в даний момент широко застосовуються в науково-дослідних, проектних і виробничих організаціях практично всіх галузях промисловості. Слід зазначити, що системи типу CAE діляться на вузькоспеціалізовані (наприклад, Deform і Qform) і спрямовані на вирішення широкого діапазону завдань, такі як програмні комплекси ANSYS, Autodesk Inventor, SolidWorks. [6]



а- загальний вид, б – сітковий поділ деталей гідроциліндра

Рисунок 3.4 Об'ємна твердотільна модель вертикально розташованого гідроциліндра

Розрахунок виконувався способом імітаційного моделювання процесу навантаження вертикально розташованого гідроциліндра в модулях «Статичний аналіз» та «Стійкість» у програмному комплексі SolidWorks.

Зазначене програмне забезпечення пропонує наступні типи досліджень: статичні дослідження (або дослідження напружень); частотні дослідження; дослідження втрати стійкості; термічні дослідження; дослідження проектування; нелінійні дослідження; лінійні динамічні дослідження; дослідження на ударні навантаження; дослідження втоми.

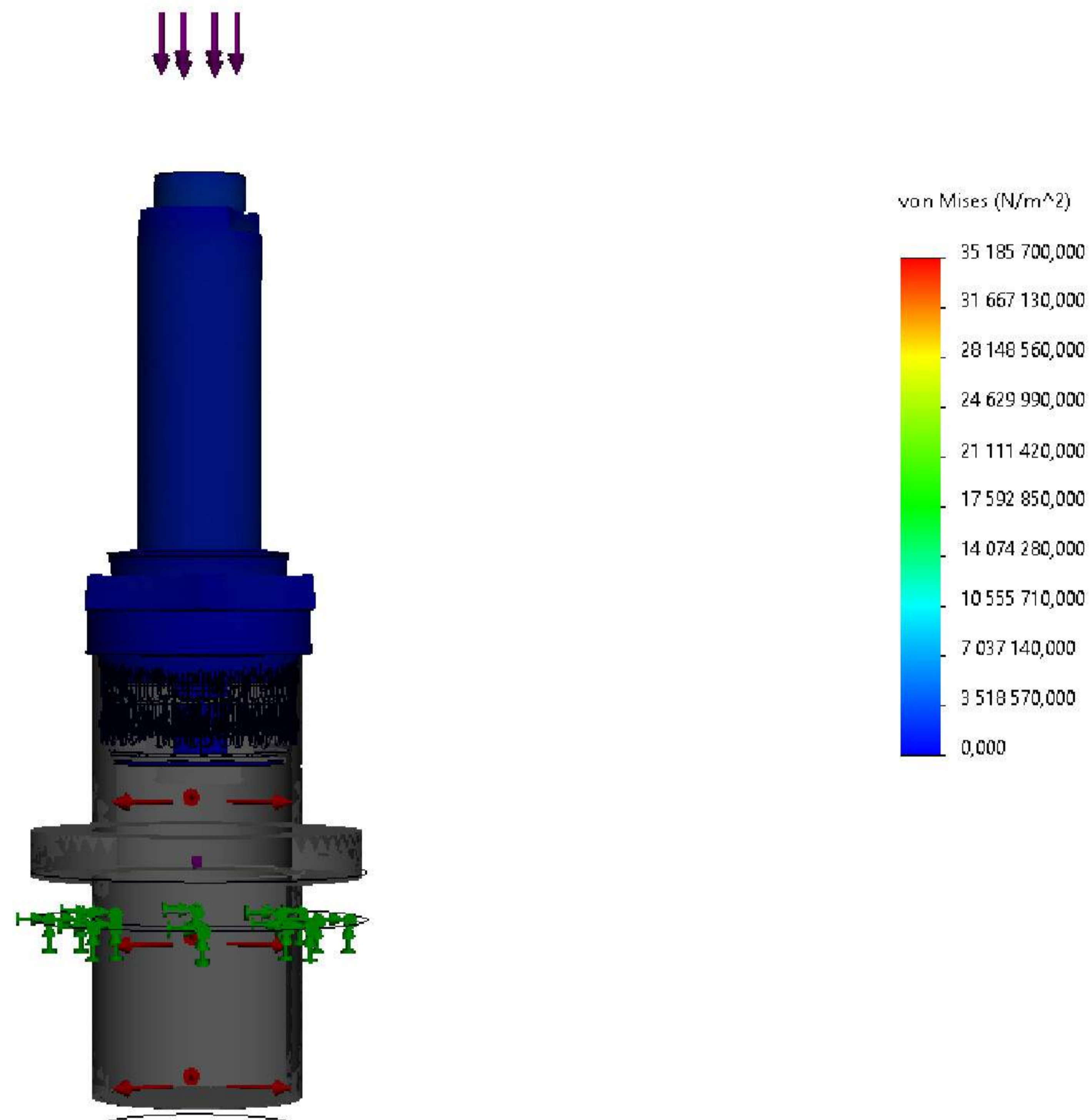


Рисунок 3.6 Епюри розподілу напружень

Мінімальне значення напружень дорівнює 3,5 МПа, а максимальне значення напружень дорівнює 35 МПа.

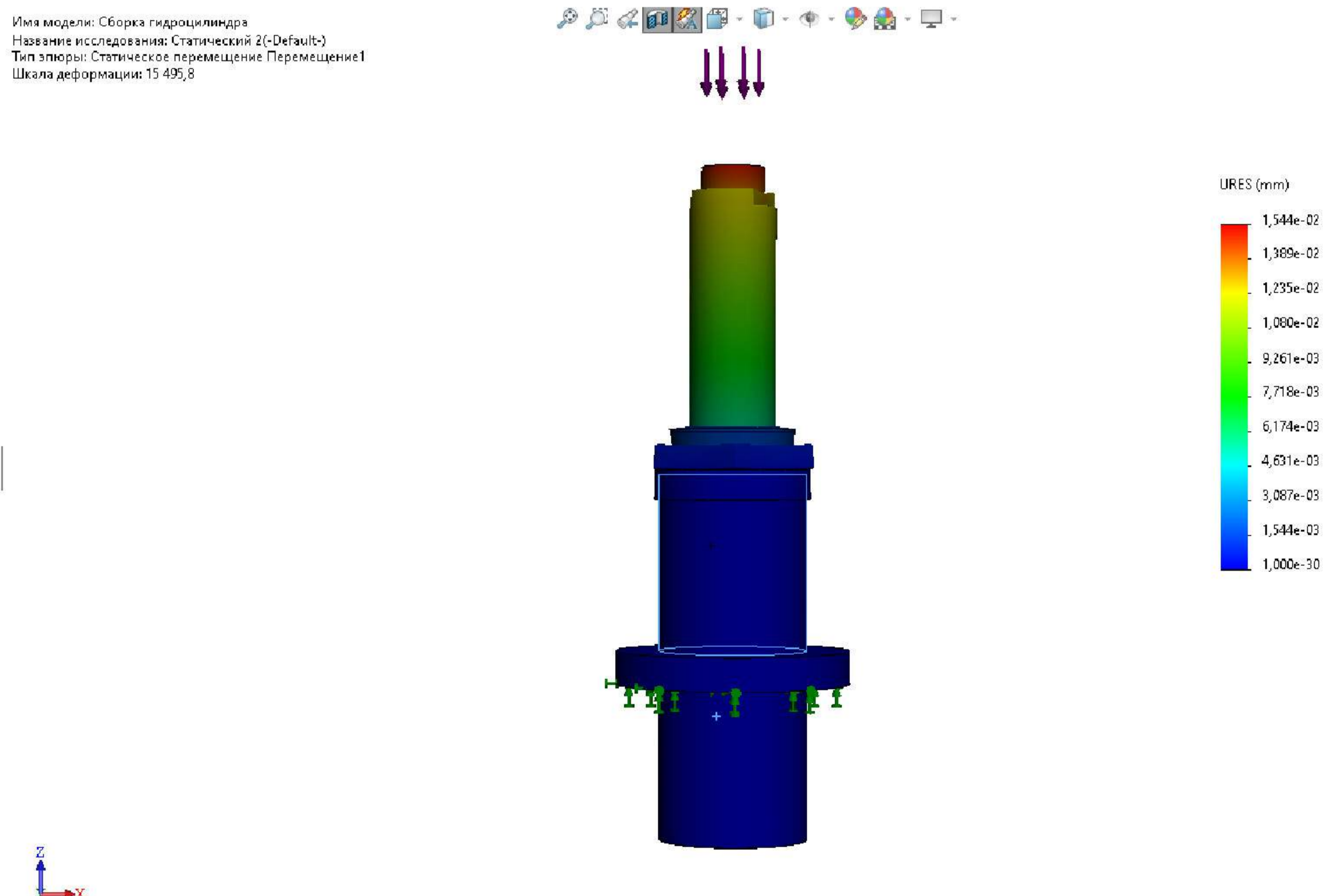


Рисунок 3.7 Епюри пружних переміщень

При заданих умовах максимальне переміщення складає 0,15мм, що цілком задовольняє умовам експлуатації.

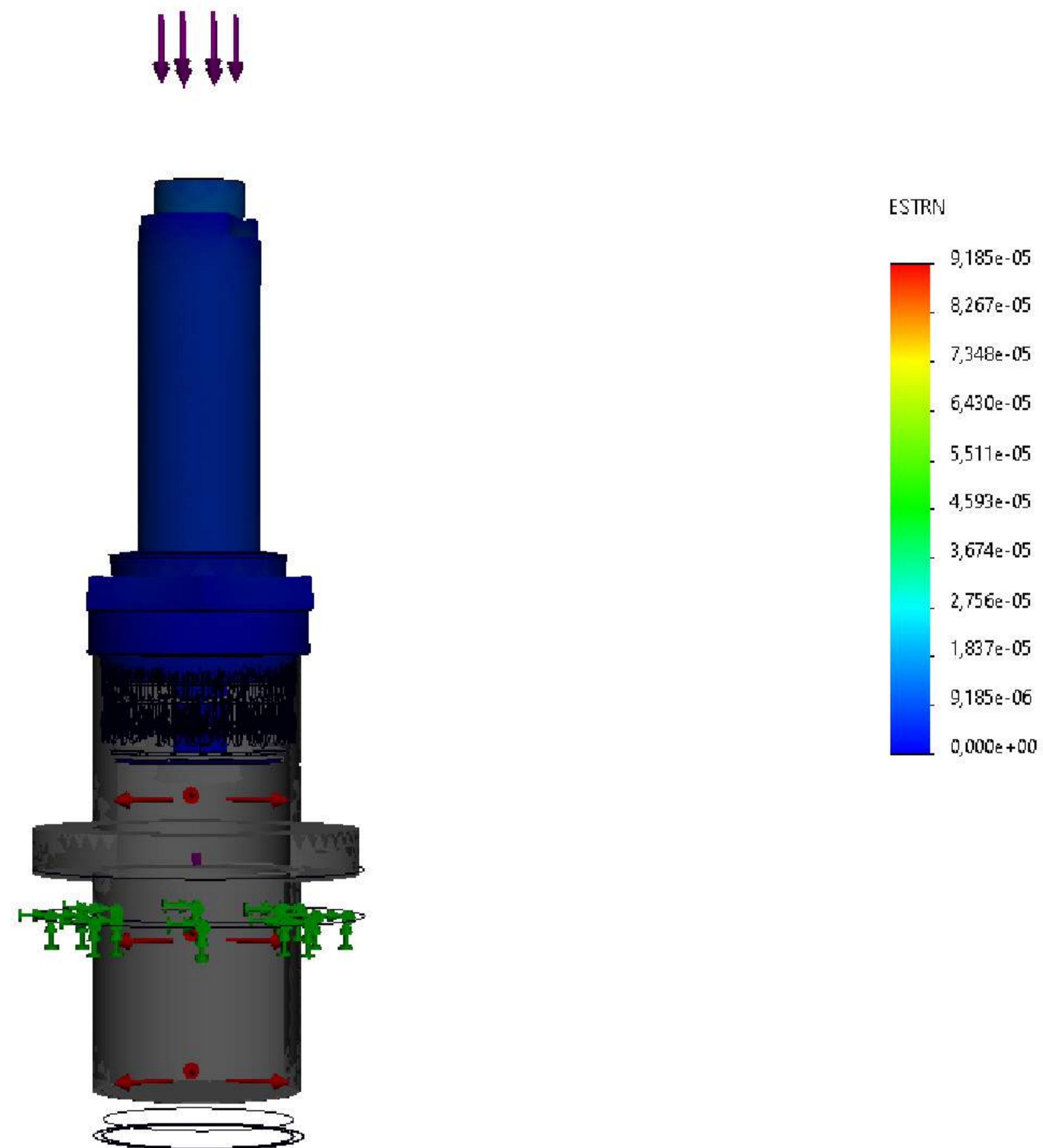


Рисунок 3.8 Епюри розподілу еквівалентних деформацій

Тип епюри: Запас прочності [Запас прочності]
Критерій : Авто
Распределение запаса прочності: Мин. коэффициент запаса прочності = 6,3

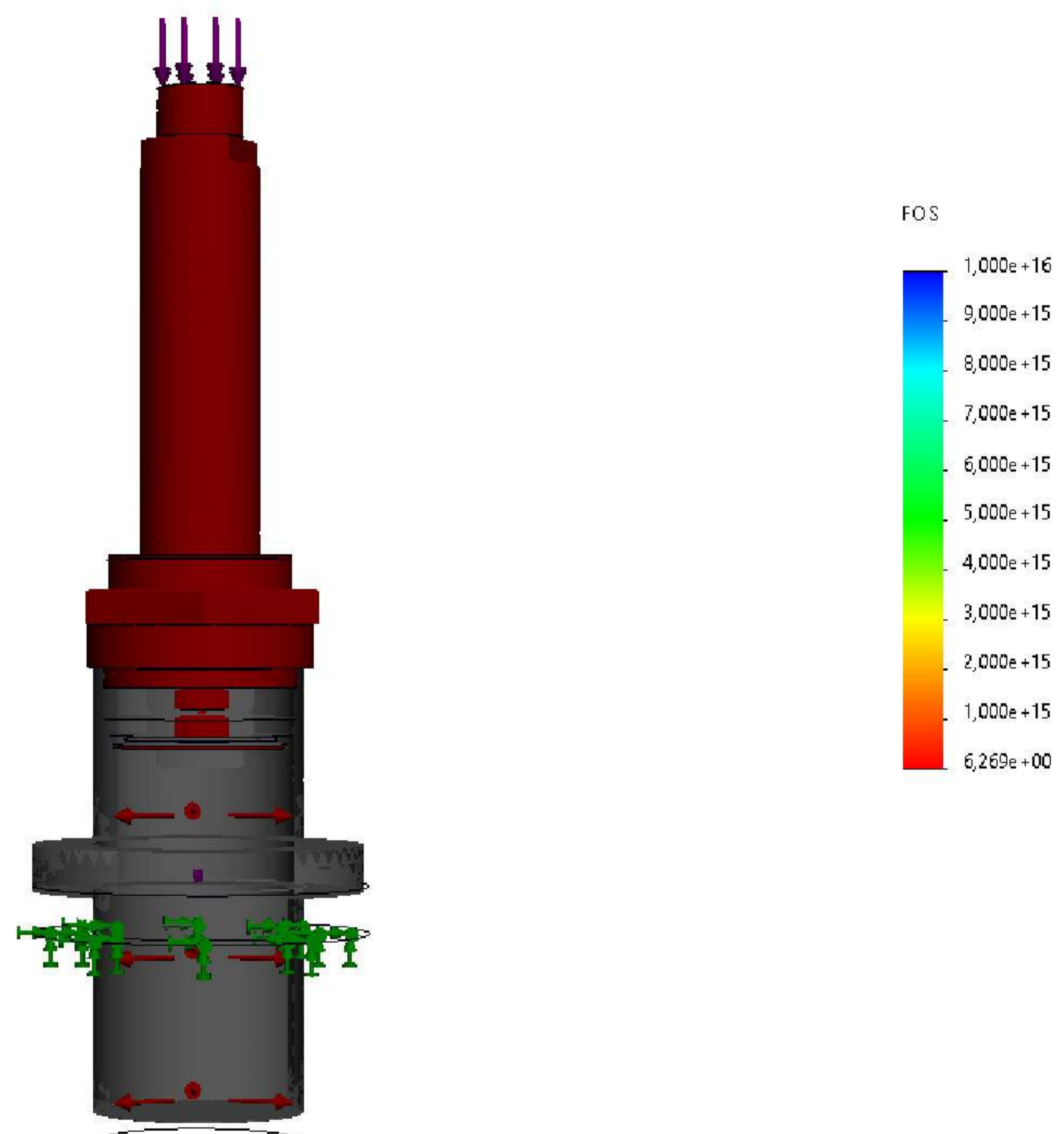
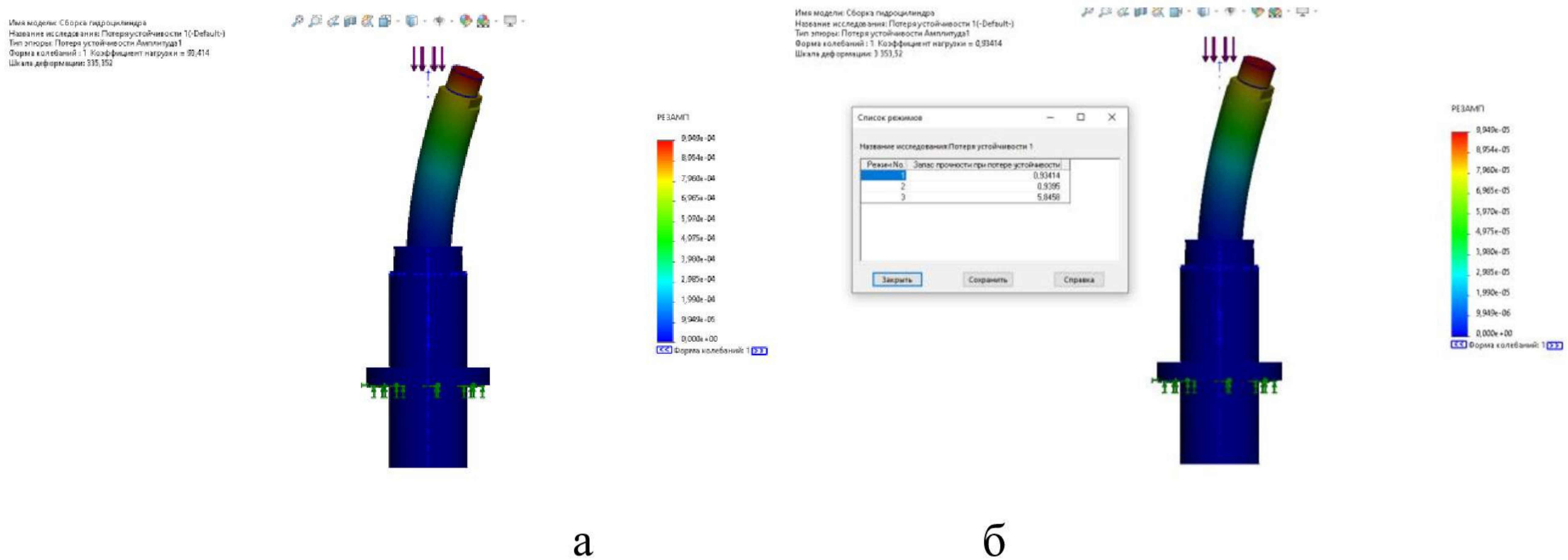


Рисунок 3.9 Епюри запаса міцності

Слід зазначити, що у поточному розрахунку прийнято зусилля, що діє на гідроциліндр на рівні його середнього значення. При цьому в залежності від схеми завантаження доменної печі зусилля на гідроциліндр може змінюватись.

Також зусилля змінюється під час відкривання конусів та вивантаження матеріалу. Подальші розрахунки проведемо з умовами зміни зовнішнього навантаження від мінімального до максимального значення.



а- епюри при мінімальних навантаженнях,

б- епюри при мінімальних навантаженнях

Рисунок 3.10 Епюри запасу міцності при втраті стійкості гідроциліндра

Як видно з епюр мінімальний запас міцності складає 0,934, що свідчить про можливу втрату стійкості гідроциліндра при максимальних навантаженнях. Тому прийнято рішення для збільшення стійкості гідроциліндра встановити додаткову ковзаючу опору у місці з'єднання штанг.

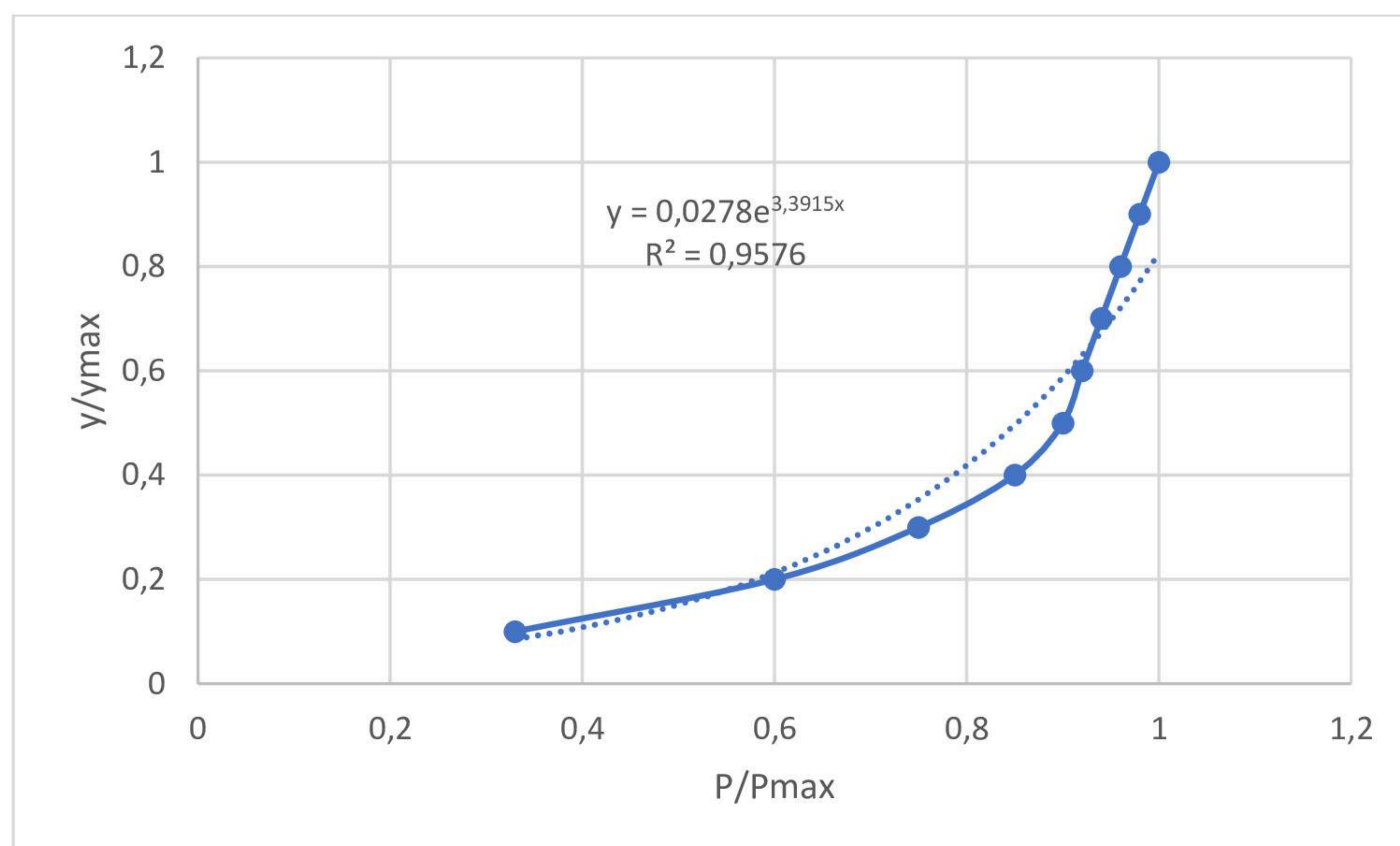


Рисунок 3.11 Графіки залежності відносного вертикального зміщення гідроциліндра відносного діючого зусилля

4. Охорона праці та техногенна безпека

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Доменний процес проходить в зачиненому просторі доменної печі. Його об'єм визначає масу перероблюваних шихтових матеріалів, швидкість їхнього пересування та час перебування в печі.

Окрім того, доменне виробництво пов'язане з високими температурами, тиском, з утворенням великої кількості вибухонебезпечних та токсичних газів, рідких продуктів плавлення, з пересуванням великої кількості вантажів, насиченістю механічним та електричним обладнанням. За характером робіт доменне виробництво належить до категорії важких робіт, більшість технологічних операцій виконується в несприятливих кліматичних умовах (висока температура, теплове випромінення, запиленість, загазованість, шум, вібрація).

Найбільше число нещасних випадків у доменному цеху відбувається внаслідок дії таких небезпечних виробничих факторів: розплавлених металів та шлаків, рухомих та обертових частин машин та механізмів. Небезпечний виробничий фактор (розплавлені, розжарені метал та шлак) виявляється при аваріях в доменних цехах: розриві кожуха доменної печі, виході з ладу охолоджувальної арматури фурмених та шлакових приладів, аваріях під час випуску чавуну, вибухах від доторку розплавлених чавуну та шлаку з водою. Аварії в доменних цехах призводять до зміни нормального режиму роботи печі, викликають необхідність проведення ремонтних робіт та різко знижують безпеку роботи обслуговуючого персоналу.

Найбільш небезпечною для обслуговуючого персоналу є ситуація при прориві горну. Прорив горну є небезпечним на сучасних доменних печах, які працюють за високого тиску високонагрітого комбінованого дуття. Основні причини проривів металу в районі чавунної льотки: незадовільна якість кладки

чавунної льотки; недостатня стійкість вогнетривких матеріалів, які йдуть на футерування горна; незадовільний контроль стану печі з боку обслуговуючого персоналу та несвоєчасне прийняття заходів щодо недопущення виходу з ладу вогнетривкої кладки горну.

Недотримання потрібної довжини чавунної льотки, ненадійне її закриття та недостатнє просушування можуть бути причиною розмивання маси чавуном та аварійного передчасного випуску. Недостатнє висушування набивання головного жолоба, чавунних та шлакових жолобів як правило призводить до закипання чавуну в жолобах, викидів чавуну та шлаку, а інколи – до вибухів.

Під час випуску чавуну та його зливанні до ковша з нього виділяється графіт, який, осідаючи на підлозі та металевих конструкціях, є ніби змащенням, внаслідок чого можливе падіння персоналу та його травмування.

Оскільки доменний цех – гарячий цех, то через наявність великої кількості надлишкового тепла відбувається значне підвищення температури повітря. Несприятливий вплив високих температур повітря підсилюється дією випромінюваного тепла. Джерелами теплових випромінювань є: розплавлений чавун та шлак, нагріте до високої температури вогнетривке футерування внутрішнього простору печі та поверхня розплавленого шлаку, дія яких проявляється при відкритих вікнах печі. Працівники доменного цеху періодично наражаються на дію інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність випромінювання на робочих місцях залежно від розмірів та температури джерел випромінювання становить близько 560 Вт/м^2 . Підвищена теплова дія на організм людини призводить до перенапруги його терморегуляторних функцій та може викликати порушення теплового балансу організму [18].

Оцінка факторів виробничого та трудового процесів наведена в табл. 4.1. [18].

Таблиця 4.1 Оцінка факторів виробничого та трудового середовища

№	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норматив. значення (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас Шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ 2 клас небезпеки марганцю оксиди 3 клас небезпеки азота діоксид ангидрид сірчаний вуглецю оксид	0,3 2,0 10,0 20,0	0,28 1,6 6,8 13,5				80
2	Пил переважно фіброгенної дії,	4	18,5		4,6 p		80
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	85				80
4	Шум, дБА	80	86	6			80
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
6	Мікроклімат в приміщенні в теплий період року						
	- температура повітря, °С	15...26	37			10	90
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2...0,6	0,45	1,5			90
	- відносна вологість повітря, %	<75	44				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	560		560		90
7	Важкість праці	3	3				

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

За таких умов особливе значення мають питання підвищення надійності роботи і безаварійності експлуатації доменних печей. Загалом усунення

небезпечних та шкідливих факторів доменного виробництва можливе при розробці нових технологічних процесів, автоматизованих агрегатів, а також шляхом удосконалення організації виробництва і праці.

Отже, згідно з вимогами СН 11 – 89 - 90 доменні цехи розташовують з підвітряного боку відносно цехів з меншою кількістю шкідливих викидів, а також відносно населених пунктів. Окрім того, між цехом та жилим районом встановлюють санітарно – захисну зону, шириною не менше 1 км.

Окрім того, розташування будівель та споруд доменного цеху повинно забезпечувати найбільш сприятливі умови аерації та природного освітлення приміщень.

Згідно з вимогами Єдиних санітарних правил для підприємств чорної металургії поздовжня вісь ливарного двору повинна бути розташована під кутом 45 – 90° до напрямку панівних вітрів. Повітронагрівачі необхідно розташовувати в одну лінію паралельно осі доменних печей.

Центральний пост керування доменною піччю розташовується в окремому звукоізолюваному приміщенні з подачею до нього кондиційного повітря. Аналогічні вимоги – до пультів керування шихтоподачею, механізмів на ливарному дворі, на розливних машинах.

Керування завантаженням бункерів повинно бути автоматичним з дистанційним контролем. Завантажувальні отвори бункерів повинні бути обладнані аспіраційними укриттями, які запобігають пиловиділенню в процесі завантаження.

Бункери повинні бути обладнані автоматичними рівнемірами, які зблоковані з розвантажувальними пристроями бункерів. Повне спустошення бункерів допустиме лише при зупинці для ремонту – налагоджувальних робіт.

Підбункерні приміщення окремих доменних печей ізолюють одне від одного загородками з механічними отворами, які виключають протяги та розповсюдження запиленого повітря.

В надбункерних та підбункерних приміщеннях повинна бути забезпечена примусова подача притічного повітря, яка компенсує роботу

місцевої витяжної вентиляції та забезпечує постійну підтримку позитивної температури.

Виведення відсіяного дріб'язку з відділення шихтоподачі на інші виробництва повинно здійснюватись закритими опалюваними галереями системою транспортерів с мінімальною кількістю перевантажень.

Скіпова яма повинна бути ізольована від інших приміщень шихтоподачі. Конструкція скипів та завантажувальних пристроїв повинна виключати просип шихтових матеріалів. Постановні місця скипів та завантажувальні лотки необхідно обладнувати аспіраційними укриттями, а повітря, яке виходить, очищати від пилу [15].

4.3 Виробнича санітарія

Опалення необхідне для нормалізації мікроклімату у виробничих приміщеннях шляхом підтримування в них необхідної температури повітря. Системи опалення можуть бути місцевими та центральними. За видом теплоносія вони поділяються на водяні, парові, повітряні, газові та електричні. Місцевими нагрівальними приладами опалюють приміщення для обігріву працівників на рудному дворі, приміщення контрольно -вимірювальних приладів, будівлю керування доменною піччю, будівлю розливної машини, депо ремонту вагон – вагів.

Повітряне опалення, суміщене з притічною вентиляцією, використовується для опалення бункерної естакади, а також галереї коксоподачі, машинного приміщення скіпового підйомника, будівлі електрофільтрів, помпувальних станцій, депо ремонту ковшів.

Електричне опалення використовують в кабінах кранів та рудних перевантажувачів. Для захисту комунікацій обладнання та приладів від замерзання передбачають їхній обігрів пристроями для місцевого та променистого обігріву. Прилади променистого обігріву та устаткування газових інфрачервоних випромінювачів застосовують для обігріву на відкритих робочих місцях [18].

Табл.4.2 Параметри мікроклімату повітряного середовища на робочих місцях доменних печей

Технологічна операція	V = 2000 м ³			V = 2700м ³			V = 3200 м ³		
	Температура °С	Вологість %	Рухомість м/с	Температура °С	Вологість %	Рухомість м/с	Температура °С	Вологість %	Рухомість м/с
1. Випуск чавуну і шлаку: Відкриття льотки бурмашиною	8–12	35	0.5	8–12	30	0.7	10–12	40	0.7
	20–40	30	0.6	28–45	20	0.4	24–50	30	0.5
Спостереження за випуском чавуну	0–6	35	0.7	2–6	40	0.5	0–8	30	0.6
	20–30	40	0.6	22–28	30	0.5	24–30	30	0.6
Спостереження за випуском шлаку	0–6	40	0.3	2–6	40	0.5	4–6	40	0.5
	22–30	40	0.4	20–28	30	0.5	16–20	30	0.5
Закриття льотки	6–10	40	0.5	8–10	45	0.5	10–12	25	0.7
	24–35	45	0.5	24–40	30	0.5	26–40	40	0.6
2. Ремонт футерування головного жолобу: Прибирання футерування та скрапу	20–30	100	0.6	20–34	80	0.8	20–36	100	0.3
	30–35	90	0.5	30–38	75	0.5	30–40	100	0.3
Набивання жолобу	8–22	90	0.4	10–26	70	0.7	14–25	70	0.5
	20–30	80	0.4	25–35	60	0.7	25–35	80	0.5
3. Ремонт футерування чавунного жолобу: прибирання футерування та скрапу	12–25	70	0.4	20–32	80	0.4	20–30	100	0.5
	25–32	70	0.4	30–34	70	0.4	30–40	100	0.3
Набивання жолобу	10–24	60	0.3	10–26	80	0.4	16–20	60	0.5
	22–30	60	0.3	26–30	70	0.4	30–40	50	0.5
4. Ремонт чавунної льотки	22	40	0.3	26	45	0.3	30	40	0.5
	34	40	0.3	38	45	0.3	38	30	0.4
5. Зміна фурмених приладів	10–14	40	0.3	10–12	40	0.5	10–12	45	0.4
	25–30	40	0.3	30–35	35	0.5	35–40	30	0.7

Дані значення мікроклімату дещо відрізняються від нормованих значень.

Нормовані значення мікроклімату в приміщенні доменного цеху (ливарний двір) наведені в табл. 4.3.

Табл. 4.3 Нормовані значення мікроклімату у приміщенні доменного цеху

Характеристика виробничих приміщень за надлишковими тепловиділеннями (більш або менш 23 Вт/м ³)	Категорія робіті по тяжкості	Період року (теплий, холодний)						Температура повітря поза постійних робочих місць, Т, °С	
		На постійних робочих місцях							
		Температура повітря, Т, °С		Відносна вологість повітря, φ, %		Швидкість руху повітря, W, м/с			
Більш 23 Вт/м ³	3 Тяжка	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
		Холодний період							
		16-18	13-19	40-60	75	0,3	Не більш 0,4	19-22	12-20
		Теплий період							
		18-20	15-26	40-60	75	0,4	0,2-0,6	22-24	13-28

Освітлення – один з найважливіших факторів для введення виробничого процесу. До освітлення виробничих приміщень висуваються такі вимоги: забезпечення достатньої освітленості на робочих поверхнях, висока якість, надійність, зручність керування та обслуговування, економічність спорудження та експлуатації, забезпечення пожежної безпеки.

У виробничих приміщеннях передбачено природне, штучне та суміщене освітлення. Природне освітлення здійснюється: верхнім світлом – через світлові ліхтарі та щілини в покрівлі; бічним світлом – через вікна в зовнішніх стінах; комбіноване – до верхнього освітлення додається бічне.

Штучне освітлення може бути загальним комбінованим, якщо разом з загальним освітленням застосовують також місцеве, тобто освітлення, яке концентрує світловий потік на робочому місці. Загальне освітлення має 2 різновиди – рівномірне та локалізоване.

В доменному цеху повинні бути такі види штучного освітлення:

- А) робоче;
- Б) аварійне для продовження робіт;
- В) аварійне для евакуації людей.

Світильники робочого та аварійного освітлення повинні бути розташовані так, щоб забезпечувались необхідна освітленість, надійність кріплення, безпека та зручність експлуатації. У випадку, коли обслуговування світильників зі сходів є заважким, повинні бути обладнані майданчики.

4.4 Електробезпека

В умовах доменного виробництва найбільш небезпечною є дія електричного струму та електричної дуги.

Електрообладнання та його експлуатація повинні відповідати вимогам Правил облаштування електроустановок, Правил технічної експлуатації споживачів та Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

Для забезпечення безпечної, безаварійної та високопродуктивної праці електрообладнання до його будови та експлуатації надається ряд вимог. Залежно від характеристики виробничого середовища згідно з Правилами облаштування електроустановок (ПОЕ) виробничі приміщення поділяють на 3 категорії (згідно з ДНАОП 0.00 – 1.21 – 98):

1) Приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю умови, яка створює таку небезпеку: вологість, струмопровідні підлоги, стіни, стелі, температура вище 30°C. До цієї категорії належать приміщення електричних установок доменних цехів.

2) Особливо небезпечні приміщення, які характеризуються наявністю умови, яка створює таку небезпеку: відносна вологість 100%, хімічно активне середовище, наявність 2 та більше умов підвищеної небезпеки. До таких приміщень належать: тунелі, підвали, криниці доменного цеху.

3) Приміщення без підвищеної небезпеки, які характеризуються

відсутністю умов, які створюють підвищену та особливу небезпеку. Це: конструкторські та інші приміщення.

Безпечна експлуатація електрообладнання можлива за рахунок високої виробничої дисципліни, відповідної кваліфікації обслуговуючого персоналу, неухильного виконання вимог чинних правил з електробезпеки.

Надійність та безпека електрообладнання значно підвищуються при застосуванні міжремонтного обслуговування, яке засноване на щоденних оглядах електротехнічним персоналом обладнання.

Для розподілення та передачі електроенергії територією та виробничими приміщеннями прокладають електричні кабелі. Для живлення стаціонарних устаткувань використовують броньовані кабелі зі свинцевою чи алюмінієвою оболонкою. Силові кабелі прокладають в металевих трубах під землею в спеціально олаштованих кабельних каналах, тунелях. У виробничих приміщеннях кабелі прокладають відкрито по стінах, перекриттях, металоконструкціях.

Кабельні троси, які прокладені на внутрішніх стінах робочого майданчику доменної печі, захищаються від прямого впливу розплавленого металу та газів.

Всі неізольовані струмопровідні частини електрообладнання, яке встановлене поза електричним приміщенням, повинні мати суцільні огорожі, зняти або відкрити які можливо за допомогою спеціальних ключів чи інструментів.

Безпека електроустаткувань, які будуються, забезпечується за рахунок застосування засобів колективного та індивідуального захисту. До засобів колективного захисту від ураження струмом відносяться: застосування малих напруг та захисне розділення мереж; застосування підсиленої ізоляції; захисне заземлення та занулювання корпусів електрообладнання та інших конструктивних елементів електроустаткувань; автоматичне захисне відключення частин електрообладнання, які випадково опинилися під напругою (ГОСТ 12.1.030 – 81) [18].

4.5 Пожежна безпека

Причини виникнення пожежі на доменному виробництві різні:

- недоліки в будівельних конструкціях, в плануванні приміщень;
- дефекти обладнання;
- порушення режимів технологічних процесів;
- неправильне проведення робіт;
- необережність персоналу.

Тому при побудові підприємств і цехів необхідно здійснювати великий комплекс заходів з протипожежної безпеки.

Пожежа на виробництві є небезпечною для працівників, а також спричиняє значні пошкодження та матеріальні збитки та може викликати зупинку роботи. Тому запобігання виробничих пожеж є важливим завданням.

Зокрема, забороняється проводити ремонти системи охолодження на оглядових майданчиках над чавунними та шлаковими льотками під час випуску продуктів плавлення. Стан систем охолодження доменних печей та допоміжних пристроїв перевіряється щозміни.

В доменному виробництві застосовують такі засоби та способи пожежогасіння.

Гасіння пожежі на трактах подачі газу може здійснюватись: відривом полум'я сильними струменями води, пари, стисненого повітря чи азоту; забиванням корку в отвір, який пропускає газ та різьблення отвору азбестом; накладенням пластира з азбесту з одночасним змочуванням водою; зниженням тиску газу до 500 Па; заповненням газогону парою.

Транспортні галереї та кабельні приміщення обладнуються устаткуванням водяного пожежогасіння. Для гасіння пожежі подається вода під тиском системою труб.

Міжконусний простір завантажувального пристрою, бункер для палива, розподільне устаткування обладнуються устаткуванням для парового або газового гасіння. Для гасіння використовують насичену пару, або перегріту

пару технологічного призначення.

Норми первинних засобів пожежогасіння в доменному виробництві на одну домну передбачають 1 пінний вогнегасник, 6 вогнегасників ВВ – 5 чи ВВ – 8, 4 ящики з піском.

Відповідальність за дотриманням необхідного протипожежного режиму і сучасним виконанням протипожежних заходів накладається на керівника підприємства та начальника цеху. Відповідальні за пожежну безпеку на окремих ділянках призначаються наказом керівника підприємства.

Для доменного цеху на підставах типових правил пожежної безпеки для промислових підприємств розробляються загальнооб'єктова та цехові протипожежні інструкції.

Також керівник підприємства наказом призначає пожежно – технічну комісію, завданнями якої є:

- виявлення порушень і недоліків технологічних режимів, які можуть призвести до виникнення пожежі;
- розробляння заходів з їхнього усунення;
- співпраця з органами пожежного нагляду під час їхньої роботи та під час створення протипожежного режиму;
- організація масовороз'яснювальної роботи серед персоналу.

Всі працівники під час вступу на роботу проходять інструктаж (первинний та вторинний) про міри пожежної безпеки за затвердженою програмою [16].

4.6 Індивідуальні засоби захисту

До індивідуальних засобів захисту належать прилади та обладнання для захисту органів дихання, зору, слуху, голови, рук, ніг та шкіри. Використовують ці засоби лише за наявності професійних шкідливостей.

Зокрема, при роботі з забруднювальними речовинами застосовують халати зі щільної тканини із зав'язками на руках, каптури, комбінезони, гумові фартухи. Для захисту від пилу застосовують глухий комбінезон з

пилонепроникної тканини.

Тканини повинні бути стійкими до впливу навколишнього середовища. Найбільше поглинають газу та пару – вовняні тканини, найменше – льняні та бавовняні.

Для захисту від агресивної дії кислот, лугів та ін. використовують тканини з водонепроникним плівковим покриттям або з синтетичних матеріалів.

Для захисту голови, обличчя, очей від бризок кислот, лугів, органічних розчинників застосовують поліетиленові каптури, наголовники, маски з прозорими екранами з органічного скла, захисні герметичні окуляри.

Для захисту ніг від агресивних речовин застосовують чоботи з гуми, пластмаси, каучуку та замінників шкіри.

Для захисту рук застосовують кислотолугостійкі рукавиці, кислото захисні рукавиці зі спеціальним плівковим покриттям, двошарові кислотостійкі рукавиці та ін. Захисні рукавиці не повинні тісно прилягати до шкіри.

Для захисту шкіри рук, обличчя, шиї застосовують захисні пасти, креми та ін.

Захист органів дихання можливий за рахунок застосування фільтрувальних та ізолювальних приладів. В якості фільтрувальних приладів застосовуються промислові протигази та респіратори [6].

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У світовій практиці до найпоширеніших модифікацій завантажувальних пристроїв відносяться конусні завантажувальні пристрої, що суміщують одночасно функції герметичного газового затвора та конусного розподільника шихт на колошнику доменної печі та безконусні завантажувальні пристрої з лотковим розподільником шихти.

До основних вузлів конусних завантажувальних пристроїв входить приймальна воронка, розподільник шихти, газозушлювальні клапани, великий та малий конуси.

2. Аналіз конструкції приводу пристрою маневрування конусами показав, що найбільш оптимальною є конструкція з гідравлічним приводом.

3. Аналіз показало, що однією з проблем що виникають під час роботи колошникового завантажувального пристрою є ненадійна робота приводу. Основними елементами приводу є гідроапаратура та гідроциліндри, які здійснюють переміщення конусів доменної печі.

У зв'язку з розташуванням гідроциліндрів вертикально та присутність значних вертикальних переміщень призводять до відхилень останнього від вертикальної вісі. Зазначене відхилення може призвести до значного зносу елементів ущільнення а в кінцевому випадку і до втрати стійкості. Для суттєвого підвищення надійності роботи гідроциліндрів переміщення конусів завантажувального пристрою проведено дослідження граничних величин навантаження та граничних величин відхилення (зміщення) від вертикальності.

Дослідження показали можливу втрату стійкості при максимальних навантаженнях. Як видно з епюр мінімальний запас міцності складає 0,934, що свідчить про можливу втрату стійкості гідроциліндра при максимальних навантаженнях. Тому прийнято рішення для збільшення стійкості гідроциліндра встановити додаткову ковзаючу опору у місці з'єднання штанг.

Це дозволить збільшити стійкість вертикально розташованих гідроциліндрів, що здійснюють пересування конусів для вивантаження рудних матеріалів у доменну піч.

Список використаної літератури

1. Жук А.Я., Желябіна Н.К. Механічне устаткування цехів по виробництву металів та сплавів: Навчальний посібник. /Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 1998,- 216с.
2. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : Підручник. – 4-е вид.,перероб. І доп. – Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. – 379 с.
3. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В.Я. Технічне діагностування механічного обладнання: Підручник. - : ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2007. – 447 с.
4. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 1. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012р.- 574с. ISBN 978-966-2781-12-0 Гриф МОНУ (№1-11-7284 від 04.08.2011р.)».
5. Жук А.Я., Бойко О.В., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 2. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012р.-542с. ISBN 978-966-2781-13-7 Гриф МОНУ (№1-11-7284 від 04.08.2011р.)».
6. Монтаж металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2018р.- 330с. ISBN 978-617-7582-44-0. Режим доступу URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk_2018_330.pdf
7. Білодіденко С. В., Біліченко Г. М., Гануш В. І. Періодичність діагностування механічних систем : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2017. 89 с.
8. Технічне обслуговування металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2017р.- 288с. ISBN 978-617-7582-07-5.
9. Ремонт металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім:

«Кондор», 2017р.- 236с. ISBN 978-617-7582-08-2. Режим доступу URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk_2017_236.pdf

10. Le Gos, M., Frydman, C. The Discrete Event Concept as a Paradigm for the “Perception-Based Diagnosis” of Sachem. *Journal of Intelligent and Robotic Systems* 40, 207–232 (2004).

11. Заблонский К.І. Деталі машин: Підручник. – Одеса: Астропринт, 1999. – 404с.

12. Кирилюк Ю.Є. Допуски та посадки. Довідник. К.: Вища школа, 1999. - 135с.

13. Гребінник В.М., Іванченко Ф.К. , Ширяєв В.І. Розрахунок металургійних машин та механізмів. К.: Вища школа, 1988. - 383 с.

14. Технологія конструкційних матеріалів: навч. посіб. / П. І Літовченко, Л. П. Іванова. – Х. : НА НГУ, 2016. – 306 с.

15. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.П. Нерубацький та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.

16. Тарасенко О. Ю. Стратегічний розвиток металургійної галузі України на основі підвищення інноваційного потенціалу. *Менеджер*. 2014. №2(68). С. 114–118.

17. Кушакова Н. О. Металургійний комплекс України : загальна характеристика та сучасний стан розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2019. Вип. 23. Частина 1. С. 162–166.

18. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги ; затверджено та наказом Мінрегіоном України від 31.10.2016 р №237 та введений в дію з 01.06.2017 р. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35с.

19. Геврик Є.О. Охорона праці: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

ДОДАТКИ

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

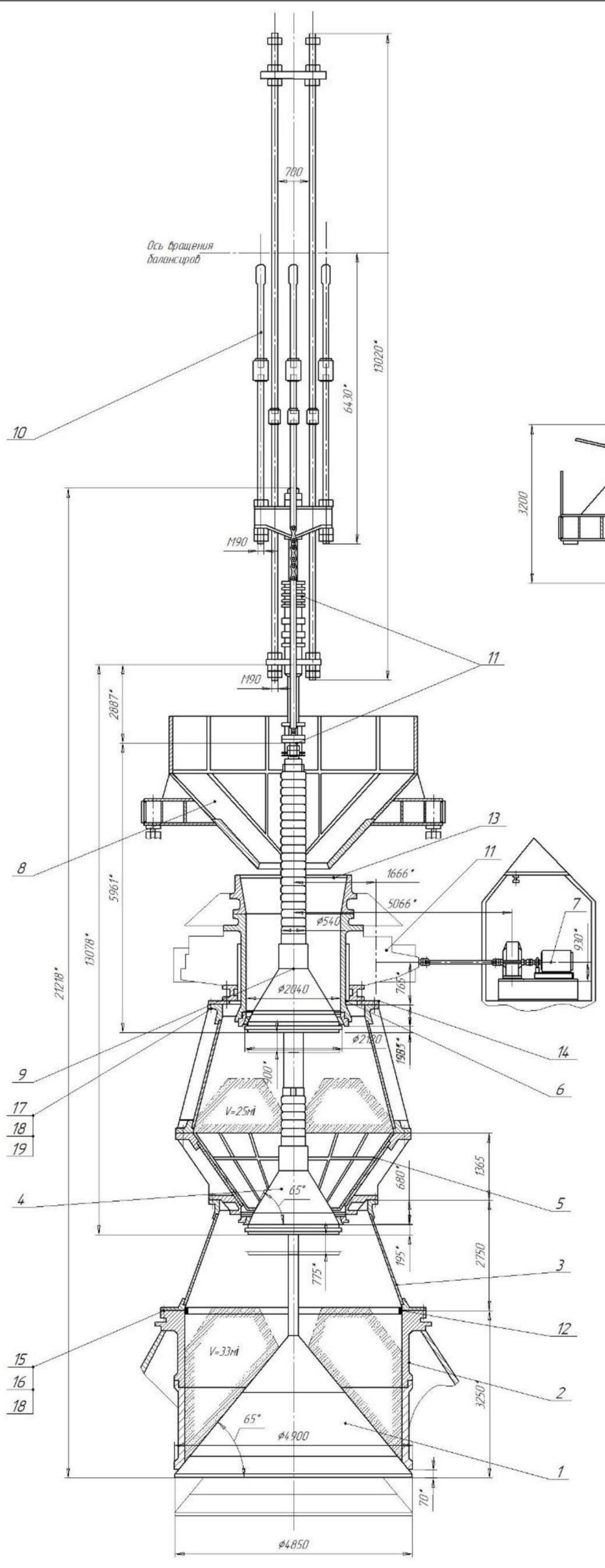
№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Креслення загального виду	1	A1
2	Складальні креслення	3	A1
4	Плакати дослідницької частини	1	A1

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Перв. примен.</i>						
<i>Справ. №</i>						
A1				<u>Документація</u>		
				<u>Загальний вид</u>		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Конус великий зі штангою	1	
		2		Чаша великого конуса	1	
		3		Затвор газовий	2	
		4		Нижній малий конус		
				зі штангою	1	
		5		Проміжна воронка	1	
		6		Розподільник шихти	1	
		7		Привід розподільника	1	
		8		Воронка приймальна	1	
		9		Верхній малий конус		
				зі штангою	1	
		10		Підвіс великого та малих конусов	1	
		11		Кутловий редуктор	1	
		12		Подвод пара та змаски до штанг малих конусів	1	
		13		Ущільнення чаші великого конуса	1	
		14		Кільце d2180*d1780	1	
				<u>Деталі</u>		
		15		Перехідне кільце	1	
		16		Шайба зміцнена	72	
ІННІ МР.22067.000						
Изм. Лист		№ докум.		Подп.		Дата
Разраб.		Баландін В.М.				
Проб.		Таратута К.В.				
Н.контр.		Гречаний О.М.				
Утв.		Власов А.О.				
				Завантажувальний пристрій		
				доменної печі		
				Лист	Лист	Листов
					1	2
МОН України ЗГИА Група МО-02-2з						
Формат А4						

Копировал

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание						
				<u>Документація</u>								
A1				<u>Складальне креслення</u>								
				<u>Складальні одиниці</u>								
A1		1		Гідроциліндр	1							
		2		Коробка розподільча	1							
		3		Розподільник золотниковий	2							
		4		Трудоотримач	1							
		5		Трудоотримач	7							
		6		Трудоотримач	2							
		7		Трудоотримач	2							
		8		Трудопровід	1							
		9		Трудопровід	1							
		10		Трудопровід	2							
		11		Трудопровід	1							
		12		Трудопровід	1							
		13		Трудопровід	1							
		14		Трудопровід	1							
		15		Трудопровід	1							
		16		Трудопровід	1							
		17		Трудопровід	1							
		18		Трудопровід	1							
		19		Трудопровід	1							
		20		Трудопровід	1							
		21		Трудопровід	1							
		22		Трудопровід	2							
		23		Установка манометрів	1							
ІННІ МР.22067.100												
Гідропривод												
управління малого конуса												
<table border="1"> <tr> <td>Лист</td> <td>Лист</td> <td>Листов</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </table>							Лист	Лист	Листов		1	2
Лист	Лист	Листов										
	1	2										
МОНУ ЗНУ, каф. МО Група 8.1332												
Формат А4												

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Перв. примен.		
							Справ. №	Подп. и дата	
				<u>Документація</u>					
A1				<u>Складальне креслення</u>					
				<u>Складальні одиниці</u>					
		1		Кожух захистний	1				
		2		Циліндр	1				
		3		Упор	2				
		4		Упор	2				
				<u>Деталі</u>					
		5		Втулка	2				
		6		Втулка	2				
		7		Втулка сальникова	1				
		8		Гайка М90 (лев)	6				
		9		Гайка Тг250*12	1				
		10		Кільце опорне	1				
		11		Кільце	2				
		12		Корпус циліндра	1				
		13		Манжета 250/270	4				
		14		Тримач вісі	2				
		15		Тримач вісі	2				
		16		Вісь	2				
		17		Вісь	1				
		18		Плунжер	1				
		19		Планка стопорна 50*100	1	0.59кг			
		20		Планка стопорна 30*170	1	0.8кг			
ІННІ МР.22067.200									
Інв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
	Разраб.		Баландін В.М.						
	Проб.		Таратута К.В.						
	Н.контр.		Гречаний О.М.						
Утв.		Власов А.О.							
Гідроциліндр						Лист	Лист	Листов	
завантажувального пристрою							1	2	
Копирвал						МОНУ ЗНУ, каф. МО Група 8.1332 Формат А4			



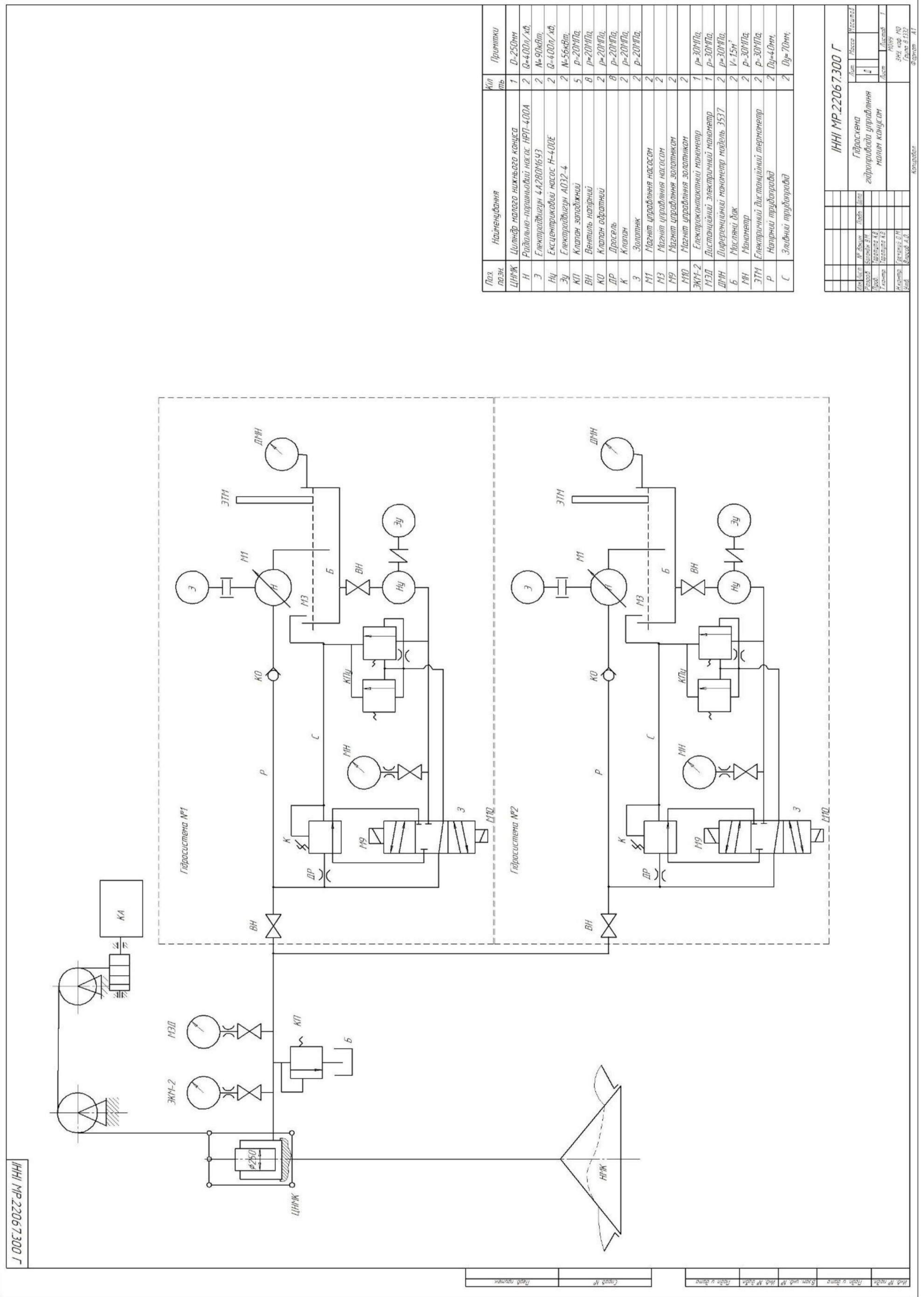
Технічна характеристика

1. Корисний об'єм воронки, що обертається, м³ - 10
2. Об'єм верхнього міжконусного простору, м³ - 4,2
3. Об'єм нижнього міжконусного простору, м³ - 68,1
4. Надлишковий тиск у міжконусному просторі, МПа - 0,2
5. Потужність електродвигуна приводу розподільника шихти, кВт - 30
6. Потужність електродвигуна гідроприводу управління конусами, кВт - 90

1. Переходное кільце дет.14 приварити до фланця розподільника автоматичним зварюванням.
 2. Розміри для довідок, крім зазначених *.

Лист № 001	Лист № 002	Лист № 003	Лист № 004	Лист № 005	Лист № 006	Лист № 007	Лист № 008	Лист № 009	Лист № 010	Лист № 011	Лист № 012	Лист № 013	Лист № 014	Лист № 015	Лист № 016	Лист № 017	Лист № 018	Лист № 019	Лист № 020
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

ІННІ МР.22067.000 3В				Лист	Рисунки	Масштаб
Ім'я	Лист	№ докум.	Лист	2	20940	1:40
Розроб.	Баланж ВМ	Лист	ВУП			
Проф.	Корольов К.В.					
Т.контр.	Корольов К.В.					
Н.контр.	Григорук Д.М.					
Інст.	Власов А.В.					
Забантажувальний пристрій доменної пічі				Лист	Листов	1
				Міня		
				ЗНІ код: 110		
				Група: 81332		
Контроль				Формат: А1		



Поз. обоз.	Наименования	Кол-во	Примеч.
ЦНЖ	Цилиндр малого нижнего конца	1	Ø=250мм
Н	Рядовый-параллельный насос НРП-400А	2	Ø=400л/хб, №=90хбт
Э	Электрообмотка 4А280М6У3	2	Ø=400л/хб, №=56хвбт
Эч	Электрообмотка насос Н-400Е	2	Ø=400л/хб, №=56хвбт
КП	Клапан запорный	5	Р=20МПа
ВН	Вентиль напорный	8	Р=20МПа
КО	Клапан обратный	2	Р=20МПа
ДР	Дроссель	8	Р=20МПа
К	Клапан	2	Р=20МПа
З	Золотник	2	Р=20МПа
М1	Манометр управления насосом	2	
М3	Манометр управления насосом	2	
М9	Манометр управления золотником	2	
М10	Манометр управления золотником	2	
ЭКМ-2	Электромагнитный манометр	1	Р=30МПа
М30	Манометр	1	Р=30МПа
ДПН	Дифференциальный манометр модель 3537	2	Р=30МПа
Б	Манометр	2	У=15мм
ЭТМ	Манометр	2	Р=30МПа
Р	Манометр дистанционный термометр	2	Ø=40мм
С	Золотник	2	Ø=70мм

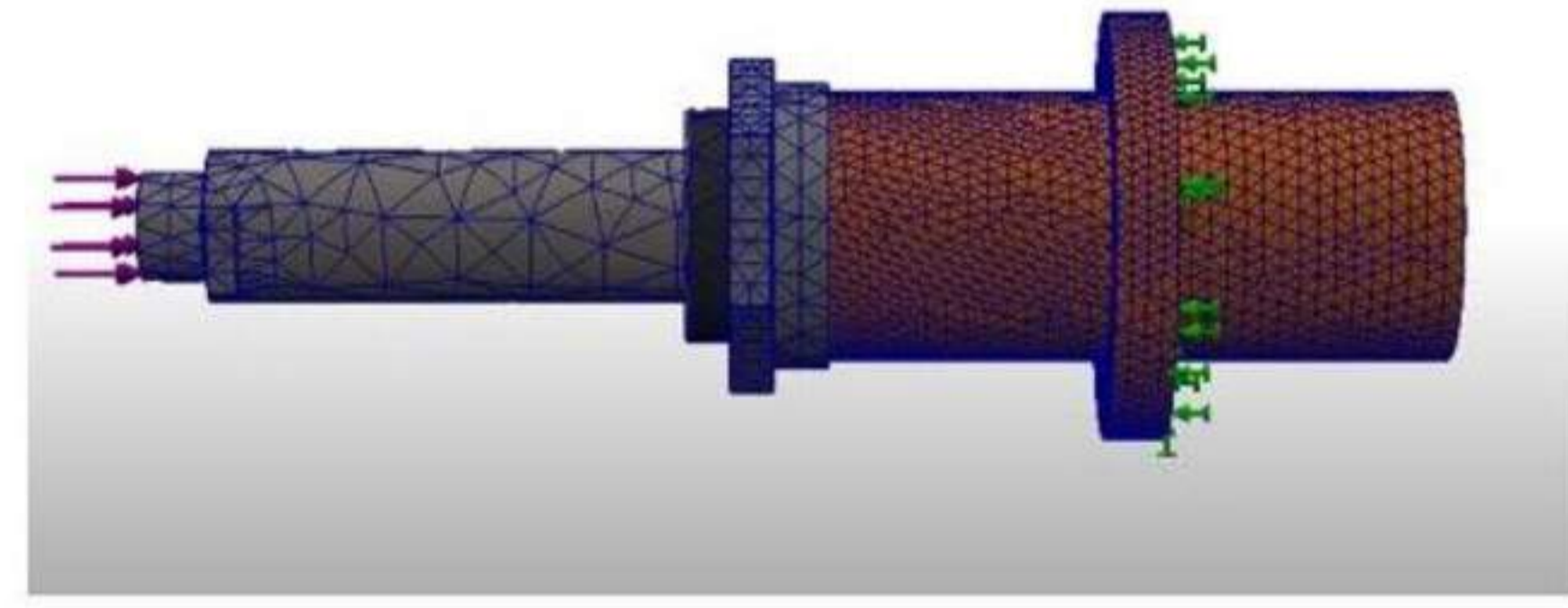
ИНИ МР.22067.300 Г			
Деталь	Материал	Масса	Кол-во
Гидросистема гидравлической системы малых экскаваторов			
Итого			

ИНИ МР.22067.300 Г

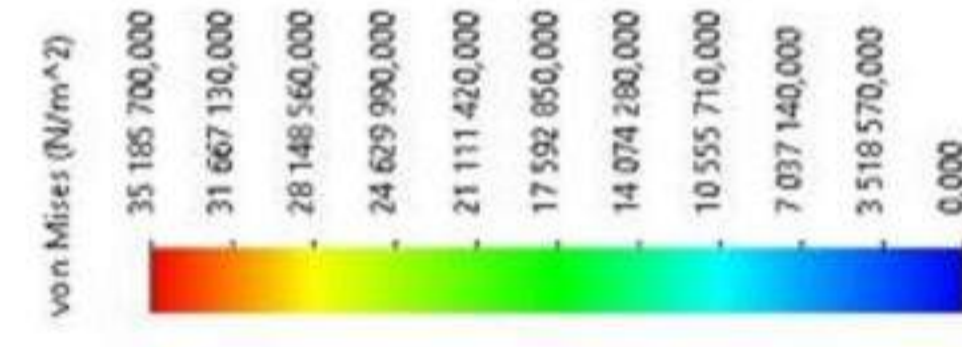
Итого № 1/2024, 2/2024, 3/2024, 4/2024, 5/2024, 6/2024, 7/2024, 8/2024, 9/2024, 10/2024, 11/2024, 12/2024, 13/2024, 14/2024, 15/2024, 16/2024, 17/2024, 18/2024, 19/2024, 20/2024, 21/2024, 22/2024, 23/2024, 24/2024, 25/2024, 26/2024, 27/2024, 28/2024, 29/2024, 30/2024, 31/2024, 32/2024, 33/2024, 34/2024, 35/2024, 36/2024, 37/2024, 38/2024, 39/2024, 40/2024, 41/2024, 42/2024, 43/2024, 44/2024, 45/2024, 46/2024, 47/2024, 48/2024, 49/2024, 50/2024, 51/2024, 52/2024, 53/2024, 54/2024, 55/2024, 56/2024, 57/2024, 58/2024, 59/2024, 60/2024, 61/2024, 62/2024, 63/2024, 64/2024, 65/2024, 66/2024, 67/2024, 68/2024, 69/2024, 70/2024, 71/2024, 72/2024, 73/2024, 74/2024, 75/2024, 76/2024, 77/2024, 78/2024, 79/2024, 80/2024, 81/2024, 82/2024, 83/2024, 84/2024, 85/2024, 86/2024, 87/2024, 88/2024, 89/2024, 90/2024, 91/2024, 92/2024, 93/2024, 94/2024, 95/2024, 96/2024, 97/2024, 98/2024, 99/2024, 100/2024

Дослідження гідроциліндрів маневрування конусами завантажувального пристрою доменної печі

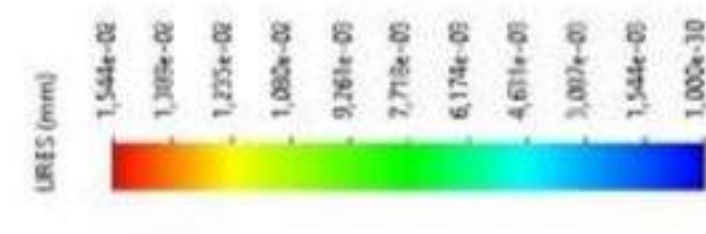
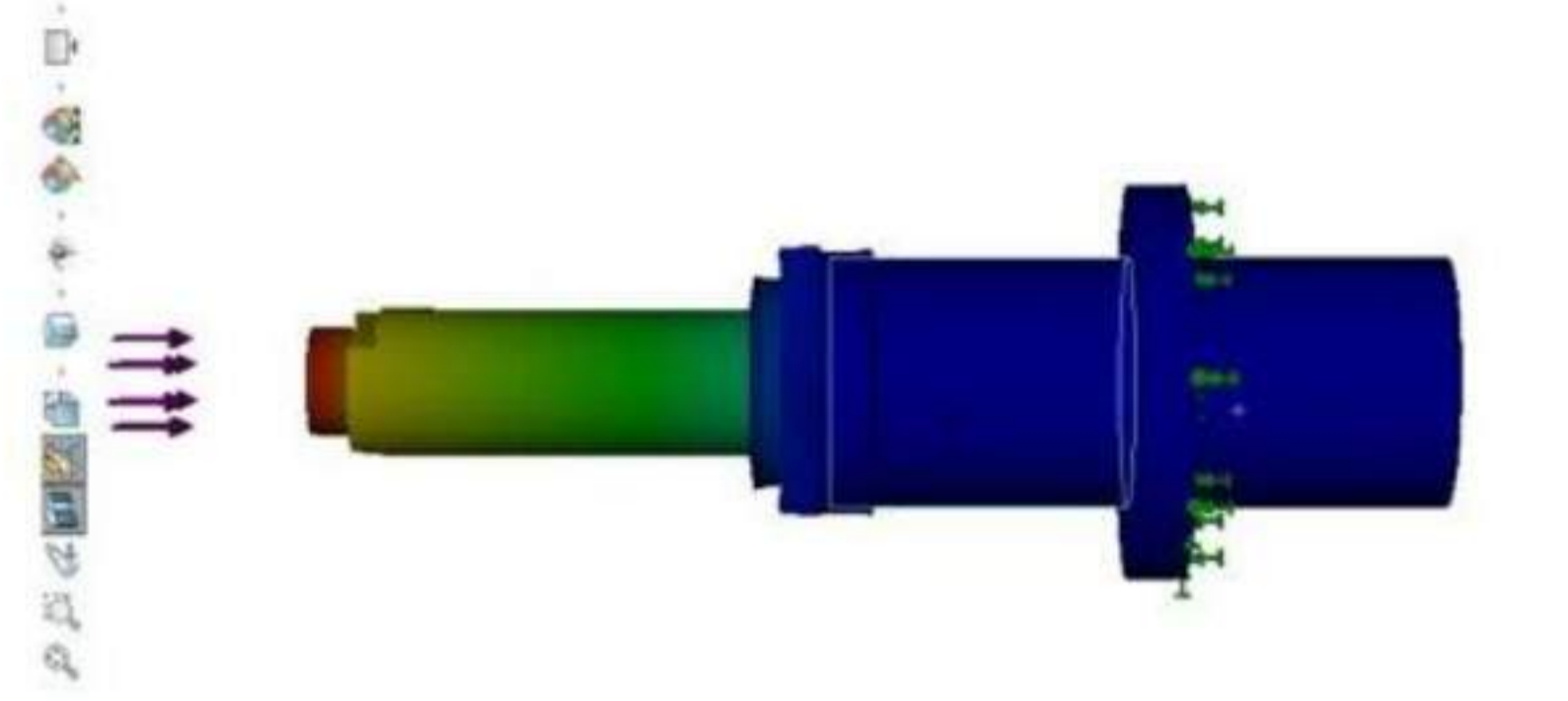
Об'ємна твердотільна модель
вертикально розташованого
гідроциліндра



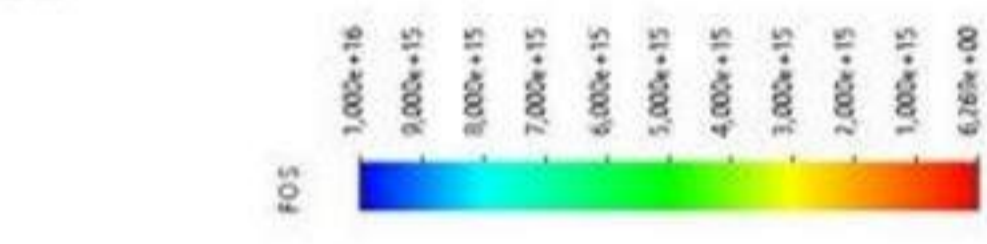
Епюри розподілу напружень



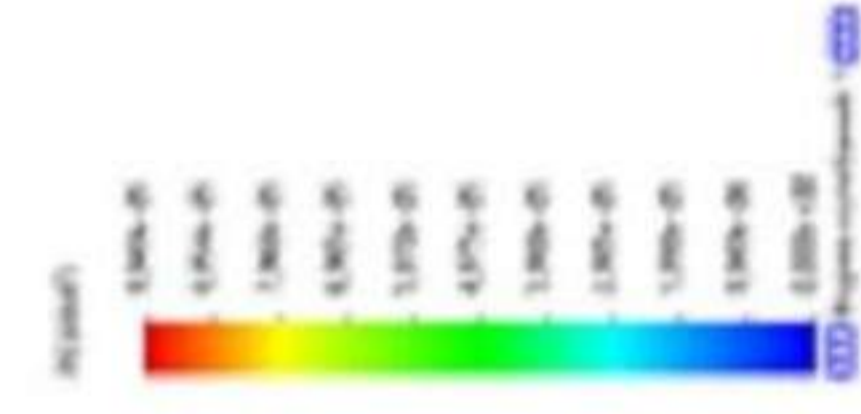
Епюри пружних переміщень



Епюри запасу міцності



Епюри запасу міцності
при втраті стійкості



Графіки залежності відносного зміщення
гідроциліндра
від відносного діючого зусилля

