

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Деталей машин і підйомно-транспортних механізмів

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему: Визначення впливу форми щелеп на зачерпуючу здатність грейфера

Виконав: студент VI курсу, групи Мз-313м
спеціальності (напряму підготовки)

133 Галузеве машинобудування

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

 Коваленко А.В.

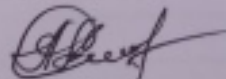
(прізвище та ініціали)

Керівник Мартовицький Л.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Клюйков О.С.

(прізвище та ініціали)



м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний

Кафедра Деталей машин і підйомно-транспортних механізмів

Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(код і назва)

Напрямок підготовки _____

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

Мартовицький Л.М.

“10” 12

2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Коваленко Андрію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Визначення впливу форми щелеп на зачерпуючу здатність
грейфера.

керівник проекту (роботи) доцент, к.т.н. Мартовицький Л.М.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «07» листопада 2018 р № 334

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.12.2018р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз поведінки сипучого середовища при зачерпуванні матеріала канатним
грейфером;

2. Створення математичної моделі руху грейферного механізму при зачерпуванні матеріалу;

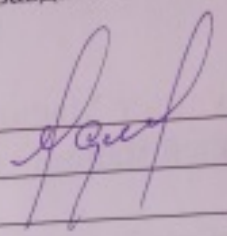
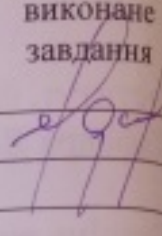
3. Визначення оптимальних масових і геометричних характеристик грейфера, що працює на рудному
дворі металургійного підприємства;

4. Проектування грейфера у вигляді тривимірної моделі, з використанням можливостей сучасних
систем автоматизованого проектування;

5. Аналіз напруженого та деформованого стану несучих елементів грейфера, оптимізація конструкції
за результатами аналізу.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вид грейфера $V = 6,3\text{м}^3$

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1 - 3	Мартовицький Л.М.		
4	Нестеров О.В.		

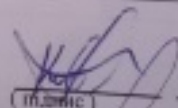
7. Дата видачі завдання 03.09.2018р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

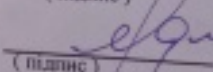
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Видача завдання до магістерської роботи	03.09.18	03.09.18
2.	Розробка робочого плану магістерської роботи за узгодженням з науковим керівником	24.09.18 – 28.09.18	24.09.18 – 28.09.18
3.	Написання I, II, III розділу та представлення його на кафедру в друкованому вигляді	01.10.18 – 30.11.12	01.10.18 – 30.11.12
4.	Написання IV розділу та представлення його на кафедру в друкованому вигляді	03.12.18 – 07.12.18	03.12.18 – 07.12.18
5.	Подання роботи на кафедру в остаточному чистовому оформленні	10.12.2018	10.12.2018
6.	Захист магістерської роботи перед ДЕК	19.12.18	

Студент

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Коваленко А.В.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Мартовицький Л.М.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Актуальність дослідження. Одним з найбільш трудомістких процесів перевалки вантажів з одного виду транспорту на інший є перевантаження навалювальних вантажів, що здійснюється за допомогою грейферів різних типів. Канатні грейфери знайшли широке застосування в різних галузях «реального сектора» економіки: на водному і залізничному транспорті, при будівництві, у виробництві будівельних матеріалів, в металургії і т. д. Грейферні крани і перевантажувачі до теперішнього часу залишаються основним засобом перевалки сипучих вантажів в промисловості. Тому питання вдосконалення конструкцій грейферних механізмів і підвищення їх продуктивності мають важливе народногосподарське значення.

Обов'язковою умовою високопродуктивної роботи подібного обладнання є оснащення його грейферами, що володіють достатньою міцністю, надійністю і зачерпуючою здатністю. Вантажопідйомне обладнання, укомплектоване такими грейферами, різко виграє в купівельному попиті.

Шляхи підвищення продуктивності перевантажувальних машин на операціях з навалювальними вантажами є: зниження ваги канатних грейферів, створення більш раціональної системи їх планово-попереджувального ремонту за рахунок більш точного прогнозування відмов, а також забезпечення необхідної зачерпуючої здатності. Основою для реалізації перших двох з вищевказаних шляхів є аналіз динаміки та міцності елементів металоконструкцій грейферів. Останній метод підвищення зачерпуючої здатності реалізується завдяки дослідженням поведінки сипучих матеріалів при зачерпуванні, аналізу кривих зачерпування.

У металургії грейфери схильні до особливо значним руйнівним діям. Потреба в збільшенні ємності грейферів з найкращим співвідношенням між масою конструкції і зачерпуванням матеріалу без шкоди для надійності підвищує значущість таких чинників, як міцність і жорсткість.

Рішення подібних завдань вимагає проведення широкого комплексу теоретичних і експериментальних досліджень силових характеристик і напружено-деформованого стану (НДС) конструктивних елементів грейферів. Актуальність теми визначається практичною необхідністю вдосконалення конструкцій грейферів, що працюють з різними матеріалами на рудних дворах металургійних підприємств.

Несучі елементи грейфера - щелепи, тяги і траверси - є складними просторовими конструкціями змінної жорсткості. Для їх розрахунку на міцність аналітичних рішень не достатньо. Розраховувати їх представляється можливим лише чисельно. Найбільш універсальним на сьогоднішній день чисельним методом розрахунку є метод кінцевих елементів.

Аналіз наукових робіт. Процес зачерпування грейферами насипних вантажів вивчали С.Л.Мак (1940), Л.І.Малеев (1981), В.К. Ільгісоніс (1955), Б.П.Румянцев (1956) та ін. Значний внесок в розробку основ силового розрахунку і визначення зачерпуючої здатності двощелепних грейферів внесли Б.А.Таубер (1967) і Р.Л.Зенков (1966).

Підходи Р.Л. Зенкова і Б.А. Таубера до процесу зачерпування двощелепними канатними грейферами насипних вантажів з уточненнями А.Б. Филякова отримали подальший розвиток в роботах В.Г. Соловйова (1975; 1991), Н.А. Шевченко (1976), Г.Г. Каракулова (1980), С.В. Проніна (1989), Ю.В. Фролкова (1990), А.С. Слюсарева (1991) та ін. Вони склали системи диференціальних рівнянь руху грейфера в процесі зачерпування. Однак гіпотеза про лінійність механічної характеристики двигуна замикаючої лебідки не дозволила їм вирішити ці рівняння при несталому русі грейферного механізму: тобто в періоди розгону і зупинки приводу. Крім того, в деяких з цих робіт завдання динамічного аналізу грейферного механізму була поставлена, але не реалізована чисельно.

Значний внесок у дослідження міцності двощелепних грейферів вніс А.М. Ясинівський (1970). Однак, запропоновані ним і використовуються досить методи силового розрахунку і розрахунку на міцність грейферів є

наближеними і не задовольняють вимогам системності: при незначній зміні конструкції, технології виготовлення або умов експлуатації доводиться заново будувати розрахункову схему і проводити додаткові експериментальні дослідження натурних зразків. Наприклад, для конструкцій щелепи без поперечної стяжки і з поперечною стяжкою в існуючій методиці розрахунку використовуються різні (головним чином - зі стрижнів і пластин) розрахункові схеми і різні системи коефіцієнтів (динамічності, зусилля розпору, нерівномірності навантаження і т. інш.).

Є необхідність у створенні оптимальних конструкцій грейферів з точки зору зачерпуючої здатності, геометричних характеристик, кінематики, запасів міцності, матеріаломісткості для конкретних видів перевантажувальних робіт.

Комп'ютерна реалізація методу скінченних елементів здатна визначати НДС несучих елементів грейфера як просторових конструкцій, без розбивки їх на частини, що має суттєво підвищити точність розрахунку на міцність.

Постановка проблеми. Основними задачами теорії канатного грейфера і практики грейферобудування, на думку більшості авторів [1,2,3] є визначення розрахунковим і експериментальним шляхом траєкторії, описуваної кромкою щелепи в матеріалі (кривої зачерпування), знаходження дійсної зачерпуючої здатності грейфера, підбір оптимальних масових і геометричних характеристик грейферів, підвищення достовірності розрахунків на міцність їх несучих елементів. У даній роботі коло задач звужимо до оптимізації грейферів, використовуваних для перевантаження і усереднення руди на рудних дворах металургійних підприємств.

В якості мети дослідження приймемо конструювання оптимального двощелепного канатного рудного грейфера для металургійних підприємств з урахуванням властивостей сипучого середовища, реальною кривою зачерпування, просторового навантаження несучих елементів і їх конструктивних особливостей. Для цього повинні бути вирішені наступні завдання:

1. Аналіз пластичної течії сипучого середовища при впровадженні в неї плоского индентора.
2. Створення математичної моделі руху грейферного механізму при зачерпуванні для визначення реакцій в кінематичних парах.
3. Підбір оптимальних масових і геометричних характеристик грейфера.
4. Визначення навантажень від взаємодії з сипучим середовищем (опор зачерпування).
5. Побудова тривимірної моделі (збірки) проектованого грейфера.
6. Кінцевий-елементний аналіз напруженого і деформованого стану несучих елементів грейфера (щелеп, тяг і траверс), як просторових конструкцій, взаємодіючих між собою і навантажених розподіленими навантаженнями від взаємодії з сипучим середовищем.
7. Оптимізація конструкції грейфера за результатами аналізу.

1 ГРЕЙФЕРИ КАНАТНІ ДВОЩЕЛЕПНІ

1.1 Історія розвитку грейферних робочих органів, типи канатних грейферів

Офіційно ідея створення грейферного робочого устаткування належить Леонардо да Вінчі, який на початку 16 ст. запропонував схеми екскаваторів-драглайнов і зробив начерк креслення грейфера для землечерпалки. В Міланській долині Леонардо да Вінчі керував прокладкою каналів, де і застосовував різні землерийні машини власної конструкції.

У 1597 році для очищення каналів у Венеції була сконструйована і побудована плавуча землечерпалка, автором якої був венеціанський механік Буанаюто Лорін. Далі в 1718 р проект землерийного пристрої з двома ковшами представили Французької Академії наук механіки де ла Бальм і Белідора, яке потім застосовувалося при будівництвах портів Тулона і Бреста [4].

У другій половині дев'ятнадцятого століття масштабне будівництво залізниць і каналів зажадало переміщення все великих мас землі, яке вже не могло бути здійснено за допомогою ручної праці землекопів. У цей період Німеччині стали застосовувати «будівельні локомотиви», оснащені одноканатними грейферами. [5]

Сучасне поняття «грейфер» (від нім. Greifen - хапати) відноситься до пристроїв з такими, що зачиняються щелепами (створами). Спочатку грейфери мали канатний привод і працювали за принципом підгортання і захоплення вантажу. Такі системи і сьогодні використовуються для перевантажувальних робіт. Для копання же щільних ґрунтів, грейфери стали оснащуватися гідроприводом і жорсткою підвіскою до стріли екскаватора, тому що у канатного грейфера зусилля впровадження здійснюється тільки за рахунок ваги самого грейфера, і для збільшення зусилля впровадження його доводилося штучно обтяжувати.

Канатні грейфери і сьогодні є одним з основних засобів рішення комплексної механізації вантажно-розвантажувальних і складських робіт з сипучими матеріалами в усіх галузях народного господарства України. Конструкції цих грейферів істотно не змінювалися з початку 20 століття, незважаючи на бурхливий розвиток нових методів розрахунку і проектування. Тому питання вдосконалення конструкцій грейферних механізмів і підвищення їх продуктивності мають велике значення.

В значення номінальної (паспортної) вантажопідйомності крана (Q), обладнаного грейфером включені маси вантажу і грейфера. Від співвідношення цих мас залежить зачерпуюча здатність грейфера. У зв'язку з цим перевантажуються грейфером сипучі вантажі розділені за насипною густиною на наступні групи [6]:

Таблиця 1.1 – Групи грейферів

Група	Насипна щільність (ρ), т/м ³	Опис вантажів	Вага грейфера
Особливо легка	0,4 — 0,63	вапно-пушонка, вугільний пил	$0,37 \cdot Q$
Легка	0,8 — 1	сухі порошкоподібні глиноземи, сухий шлак, дрібний і середній щебінь, вугілля всіх марок	$0,4 \cdot Q$
Середня	1,25 — 2	дрібно кусковий гіпс, алебастр, суха дрібно кускова глина, гравій, середньо кусковий вапняк, бита цегла, цемент, крупний щебінь	$0,42 \cdot Q$
Важка	2,5 — 3,2	тверді породи	$0,45 \cdot Q$

У чорній металургії грейфери використовуються для перевантаження різних матеріалів (вапняк, концентрат, аглоруда, вапно, марганцева руда, залізна руда, окатиші). Діапазон насипної щільності, залежно від матеріалу, коливається в рамках 0,9 ... 2,7 т/м³. Тому застосовуються важкі грейфери

(табл. 1.1). Їх розрахунок необхідно проводити для найбільш важких з перевантажуваних матеріалів.

Вантажопідйомність грейфера визначається визначенням маси матеріалу після пробного зачерпування вантажу даного виду (марки, сорту), як різниці мас заповненого і порожнього грейфера. Пробне зачерпування проводиться з горизонтальної поверхні свіжонасипаного ґрунту. Канати грейфера повинні бути захищені від перетирання матеріалом, який захоплюється грейфером [7].

Блоки грейфера розташовуються і виконуються таким чином, щоб виключалося мимовільне його розкриття і випадання канатів з жолобка блоку [7].

Канатні грейфери бувають: одноканатними, двоканатними [6] та їх різновидами (чотирьохканатний і підгортаючий) [8].

Двоканатний грейфер має щелепи, які шарнірно з'єднані з нижньою траверсою і за допомогою тяг з головкою. Підйомний канат, який закріплений на голівці призначений для підйому і опускання грейфера за допомогою підйомної лебідки. Замикає канат, з'єднаний з нижньою траверсою, який проходить через отвір в голівці і закріплюється на барабані замикаючої лебідки. Цей канат призначений для відкривання і закривання щелеп грейфера. Для збільшення зусиль різання на кромках щелеп і кращого зачерпування матеріалу замикаючий канат запасовується в поліспаст, обойми з блоками якого закріплені на нижній траверсі і голівці. Лебідки мають незалежне управління [6].

За типом приводу розрізняють лебідки двоканатних грейферів з одномоторним і двомоторним приводом. У одномоторній грейферній лебідки обидва барабана обслуговуються одним двигуном і приводяться в рух за допомогою муфт. У двомоторній кожен з барабанів в рух приводиться окремим двигуном.

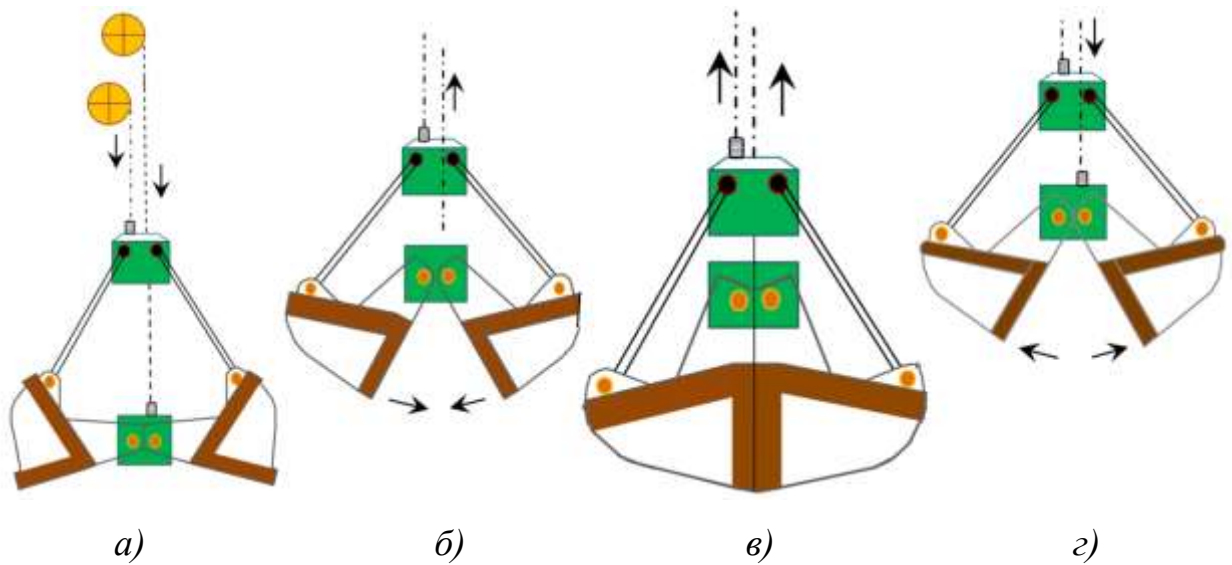


Рисунок 1.1 – Робочий цикл двоканатного грейфера

Принцип роботи:

Робочий цикл двоканатного грейфера включає наступні операції:

1. Початкове положення (рис. 1.1 а): грейфер відкритий і підвішений на підйомному канаті, який замикає канат ослаблений, обидві лебідки загальмовані.

2. Опускання грейфера на вантаж (рис. 1.1 а): грейфер відкритий, обидві лебідки працюють на спуск.

3. Зачерпування вантажу (рис. 1.1 б): грейфер врізається в поверхню вантажу, підйомний канат ослаблений і його лебідка загальмована. Замикаюча лебідка включається на підйом і головка з траверсою зближуються, щелепи повертаються щодо шарнірів траверси, і їх кромки впроваджуються в вантаж.

Якщо продовжувати працювати замикаючою лебідкою після закривання щелеп, то грейфер разом з вантажем буде підніматися на одному замикаючому канаті, який при цьому буде перевантажений. Підйом грейфера на одному замикаючому канаті заборонено, так як це призводить до швидкого зношування каната.

4. Підйом грейфера (рис. 1.1 в) з вантажем: в момент закінчення закривання щелеп грейфера включається підйомна лебідка. Обидві лебідки

працюють на підйом, і зусилля в підйомному і замикаючому канатах вирівнюються.

5. Розвантаження (рис. 1.1 г) навантаженого грейфера: замикаюча лебідка працює на спуск, при цьому нижня траверса під дією сили тяжіння вантажу і щелеп відходить від головки. Щелепи розкриваються, і вантаж висипається.

Для виключення перевантаження замикаючого каната застосовують напіваавтоматичне управління грейфером, при якому в момент закривання щелеп автоматично включається підйомна лебідка. Місткість таких грейферів коливається від 2 м³ до 20 м³. Управління канатами і забезпечення їх натягнення і швидкостей, необхідних для нормальної роботи грейфера, здійснюється грейферними лебідками [8].

Двоканатні грейфери можуть бути забезпечені двома, трьома або чотирма канатами, але принцип дії залишається незмінним [7]. Чотирьохканатні грейфери відносяться до групи двоканатних. Вони виконані з двома підйомними і двома замикаючими канатами.

Підгортають грейфери призначені для зачерпування матеріалу, наприклад, з вагонів, трюмів судів і т. інш. В чотирьохканатному підгортаючому грейфері замикаючі канати утворюють горизонтальний поліспаст [8]. Підтримуючі канати обходять блоки на траверсі, пов'язаної з щелепами за допомогою тяг. Замикання грейфера проводиться при русі замикаючих канатів вгору, розкриття грейфера в підвішеному стані - при зупинених замикаючих канатах і переміщаються вгору підтримуючих. Розмах щелеп в розкритому стані до 8 м.

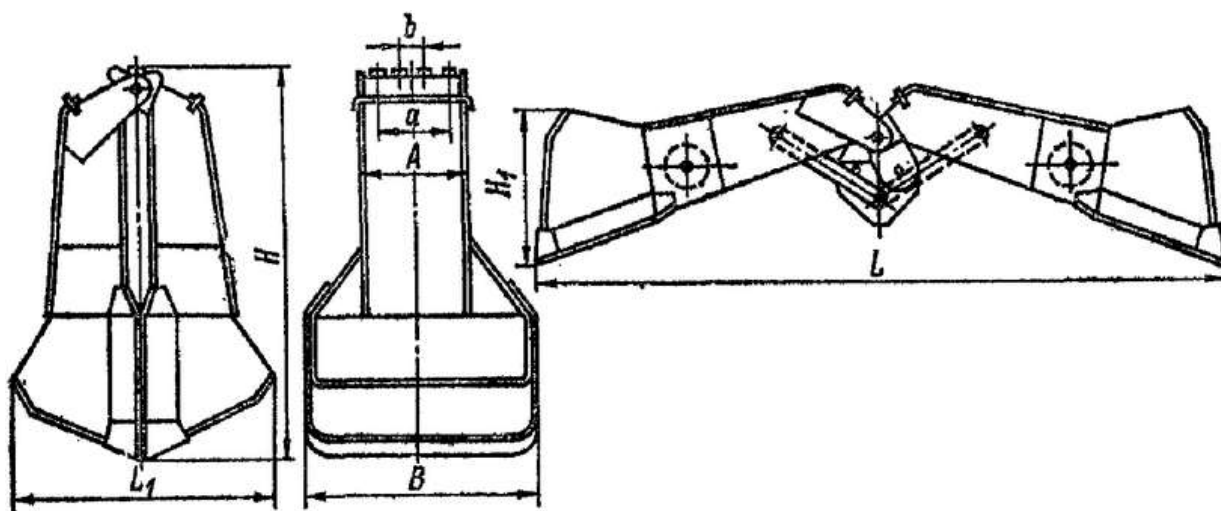


Рисунок 1.2 а – Підгортаючий грейфер фірми «Пайнер»



Рисунок 1.2 б – Грейфер підгортаючий

Конструкції шарнірного підвісу щелеп двоканатних грейферів також різні. За цією ознакою можна виділити грейфери: типу "Вlaw Кнох", звичайні (штангові), коротколанкові (рис. 1.2: а, б, в). Найбільш широке застосування

отримали штангові двоканатні грейфери (рис. 1.3). Досвід їх використання показав, що дана конструкція більш вдала.

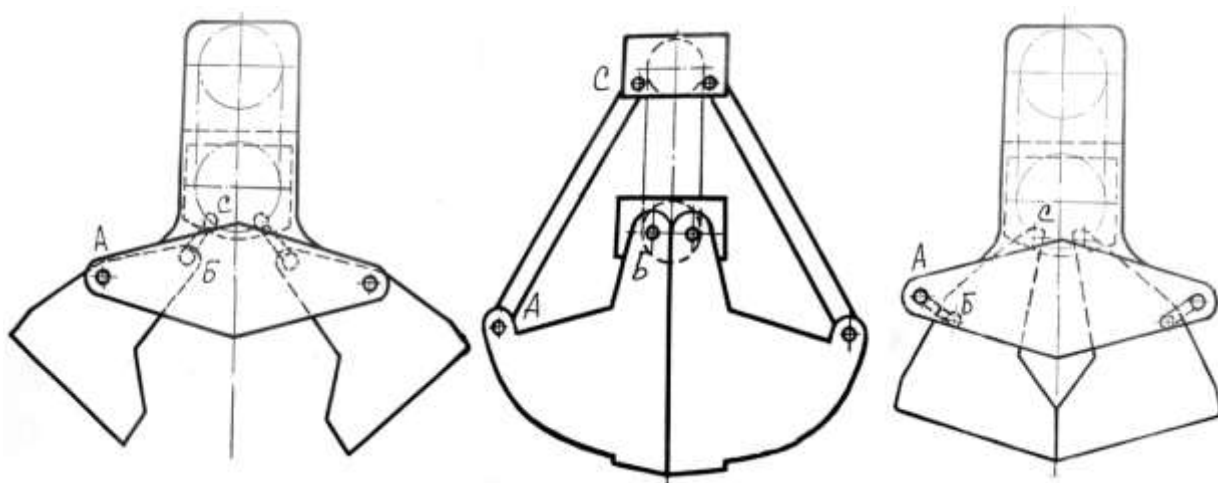


Рисунок 1.2 в – Типи канатних двощелепних грейферів

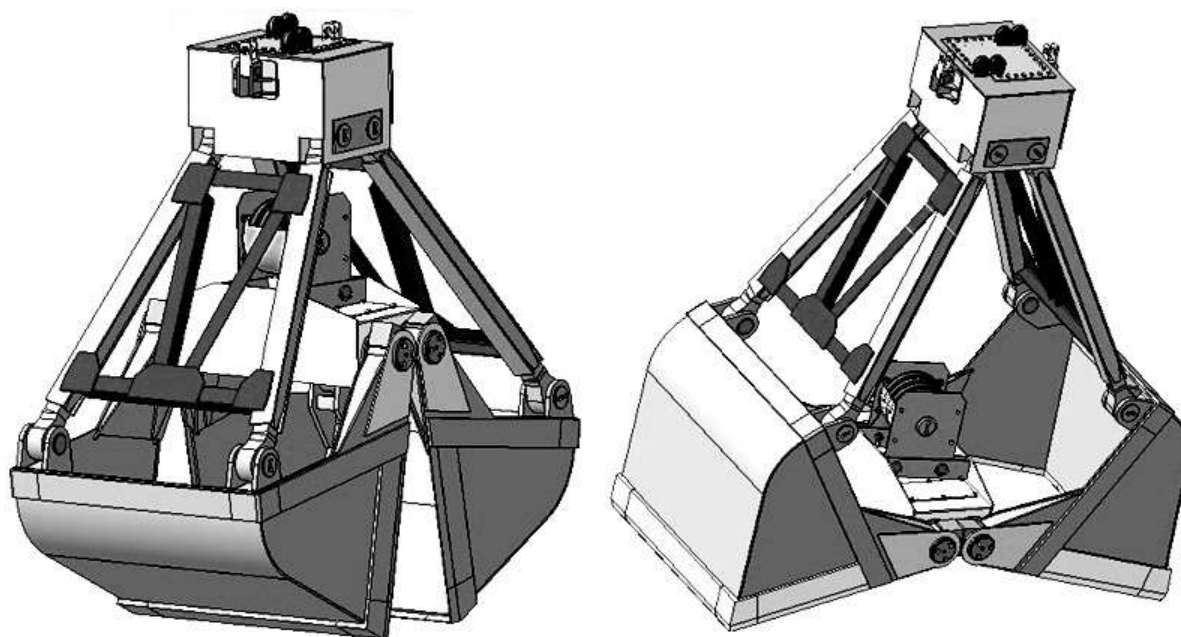


Рисунок 1.3 – 3D модель штангового грейфера



Рисунок 1.4 – 3D модель грейфера "Bleichert"



Рисунок 1.5 – Фото штангового грейфера (довголанкового)

1.2 Робота грейферних кранів на металургійних підприємствах

Дана робота присвячена створенню оптимального грейфера для використання на грейферних перевантажувачах металургійних заводів. Розглянемо коротко набір операцій, здійснюваних цими грейферами.

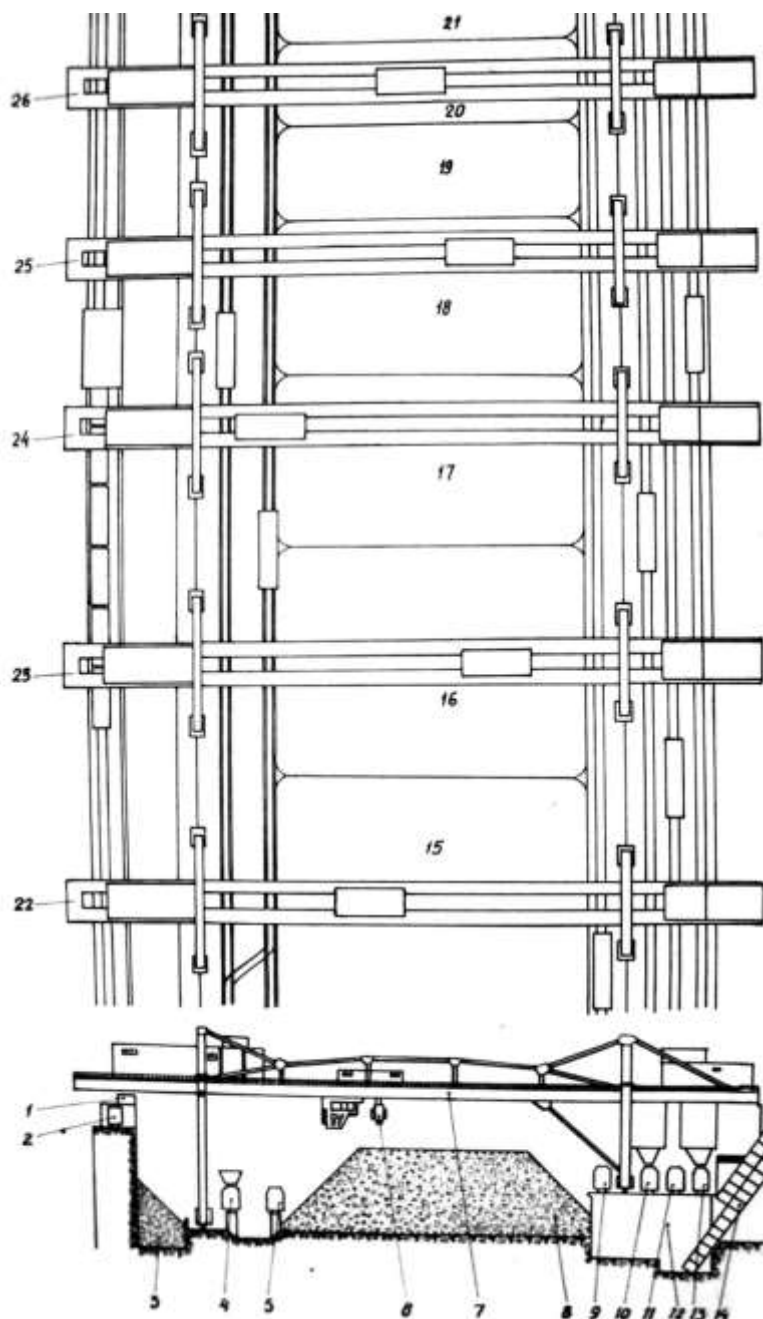


Рисунок 1.6 – Схема рудного двору (ОАО "Запоріжсталь")

На рисунку 1.6 показана схема рудного двору комбінату "Запоріжсталь". Поповнення шихтових матеріалів на рудному дворі здійснюється під'їзними коліями 2 і 9. Які Надходять вагони з шихтовими матеріалами 2 розвантажуються вагоноперекидачем 1 в траншеї 3. Вагони-хопери 9 з вапняком і окатишів розвантажуються автоматично, через люки естакади 12. Шляхами 13, 11 приходить кокс і агломерат, розвантажують в бункера через люки в естакаді 12. З шляху 9 завантажуються вапняк. Скіпові підйомники 14 завантажують домни сировинними матеріалами. На підприємстві працюють 5 козових рудних перевантажувачів (22, 23, 24, 25, 26 рис. 1.6).

Перевантажувачем 22 вапняк пересипається поперек штабеля 15. Сюди ж, з метою усереднення доставляється вапняк з траншеї 3. аглоруди з траншей 3 перевантажується на штабель 16. Сюди ж додається і вапно. Після, усереднена аглоруда перевантажується грейфером на трансферкара 5 для відправки на аглофабрику (спікання агломерату).

Концентрат з траншеї 3 перевантажується грейфером на штабель 17, звідти (або безпосередньо з траншеї) концентрат вантажать в трансферкара 4 і відправляють на аглофабрику. Марганцева просівання руда з траншей 3 перевантажується в штабель 18 і в трансферкара для аглофабрики. З штабеля 18 руду перевантажують в завантажувальні бункера естакади для підйому на домни.

Залізна просіяна руда перевантажується з траншеї 3 на штабель 19. Вапно перевантажують в штабель 20. Окатиш з траншеї 3 перевантажується в штабель 21, звідки потім перевантажується в бункера естакади.

З даної схеми видно, яка кількість перевантажувальних операцій з різними матеріалами проводиться за допомогою рудних грейферів. Найбільш важкими матеріалами тут є концентрат залізорудний, шматками залізна руда, аглоруда, просівання залізна руда, концентрат марганцевий (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 - Матеріали, що перевантажуються на рудних дворах підприємств чорної металургії [Дод. 1, табл. 7]

Матеріал	Об'ємна вага $\gamma_m, \text{т/м}^3$	Кут природного відкосу, °	Розміри кусків, мм	Примітки.
Вапняк невеликий	1,3 ... 1,5	40	25 ... 40	
Вапняк великий	1,5 ... 1,8	45	180 ... 220	
Вапняк деломітізований	1,6 ... 1,7	45	140 ... 250	
Концентрат залізорудний	2,3 ... 2,9	45 ... 50	-	липкий
Аглоруда	2,0 ... 2,2	45 ... 50	10 ... 15	
Агломерат залізорудний офлюсований	1,4 ... 1,8	45	0 ... 10	
Вапно металург.	0,9 ... 1,0	45	-	
Марганцева руда	1,4 ... 1,8	45 ... 50	10 ... 20	
Марганцевий концентрат	1,6 ... 2,0	45	2 ... 6	
Залізна руда (шматками)	2,0 ... 2,4	45 ... 50	50 ... 100	
Залізна руда (просівання)	1,6 ... 2,0	45 ... 50	10 ... 100	
Окатиш	1,5 ... 1,8	30 ... 40	10 ... 60	
Кокс	0,5 ... 0,6	50	25 ... 80	

1.3 Робота грейферного обладнання

Грейфер - один з небагатьох робочих органів, що не мають жорсткої кінематичного зв'язку з силовим приводом. Він пов'язаний з замикаючим барабаном гнучким канатом. При цьому в процесі зачерпування канат вибирається вгору, а грейфер впроваджується в сипучий матеріал вниз. Траєкторія грейфера в сипучому матеріалі визначається не кінематикою силового приводу, а співвідношенням сил впровадження від ваги елементів грейфера і зусилля в замикаючому канаті з одного боку і сил опору зачерпування сипучого матеріалу - з іншого.

Заповнення щелеп супроводжується як ущільненням сипучих матеріалів, так і порушенням зв'язків між їх частинками. Під впливом зусиль копання в матеріалі виникають пружні і пластичні деформації. Щелепа заповнюється під дією сил, що створюються стружкою і призмою волочіння матеріалу перед щелепою.

Горизонтальний шар матеріалу, при копанні грейфером, деформується: матеріал, що лежить ближче до днища, перебуває під дією внутрішніх сил зчеплення і сил тертя по днищу і про бічні стінки, захоплюється щелепою і рухається разом з нею вниз. Середні слої стискаються, виникає два симетричних полюса максимальних вертикальних переміщень шарів. Деформація сипучого матеріалу під стінами грейфера більше ніж в середині, тому на щелепу також діють значні вертикальні і поперечні сили.

При збільшенні розміру шматків перевантажуючого матеріалу, поведінка матеріалу при зачаруванні трохи змінюється. Кинутий з висоти грейфер, впроваджується на певну глибину. Після щелепи починають замикатися (повертаються під дією зусиль в замикаючих канатах). Під дією зусиль на ножі, шматки матеріалу під ним переміщаються по шляху найменших опорів: вниз (в ущелини між шматками), в сторони (в щелепу або назовні). Переміщення ковша веде до ущільнення навколишнього масиву. Опір ущільнення переміщує щелепу до осі грейфера, що додатково стискає матеріал, що рухається всередину контура. При подальшому змиканні щелеп нижчележачі ущільнені шари чинять опір впровадженню і ножі щелеп рухаються по пологій кривій зачерпування. При малої міцності матеріалу, відбувається його подрібнення.

Графік руху горизонтальної ділянки ножа щелепи грейфера (крива зачерпування) в зачерпуючому матеріалі є основою для структурного і кінематичного дослідження грейферних механізмів. На підставі вивчення цієї траєкторії можна аналізувати характер заповнення щелеп грейфера і запропонувати конструктивні зміни для підвищення продуктивності при грейферованні. Єдиного методу запису траєкторії зачерпування, поки не

запропоновано. В [2] розглядаються основні методи запису кривих зачерпування експериментально. Жоден з цих методів не дозволяє отримати графік траєкторії кривої зачерпування без додаткової обробки. Розрахункові методи визначення кривих зачерпування, з описаних вище причин, адекватні для обмеженого набору матеріалів, що перевантажуються грейфером з одним набором геометричних параметрів. Як було сказано вище, на металургійних підприємствах грейфери перевантажують різні за характеристиками матеріали, тому криві зачерпування теж різні.

Рішення основних задач теорії грейфера досить складно. Навіть використання загальноприйнятих методик [1, 2] для традиційної схеми грейфера з вертикальним поліспастом ускладнює статичну невизначеність грейфера, а також неможливість в цих методиках врахувати важливу властивість автоматичного саморегулювання процесу зачерпування, властиве канатному грейферу. Щоб обійти ці питання, автори використовували різні штучні прийоми, що спрощують фізичну картину процесу зачерпування і роблять рішення умовними. [9]

1.4 Аналіз грейферів, що працюють на металургійних підприємствах України

1.4.1 Конструкцій грейферів підприємств чорної і кольорової металургії України

В даному підрозділі проведемо короткий огляд конструкцій грейферів, що працюють на металургійних підприємствах України. Конструкції шарнірного підвісу щелеп, де використовується двоканатні грейфери відповідають описаним в п. 1.1: "Blaw Knox", звичайні, коротколанкові (рис. 1.2: а, б, в).

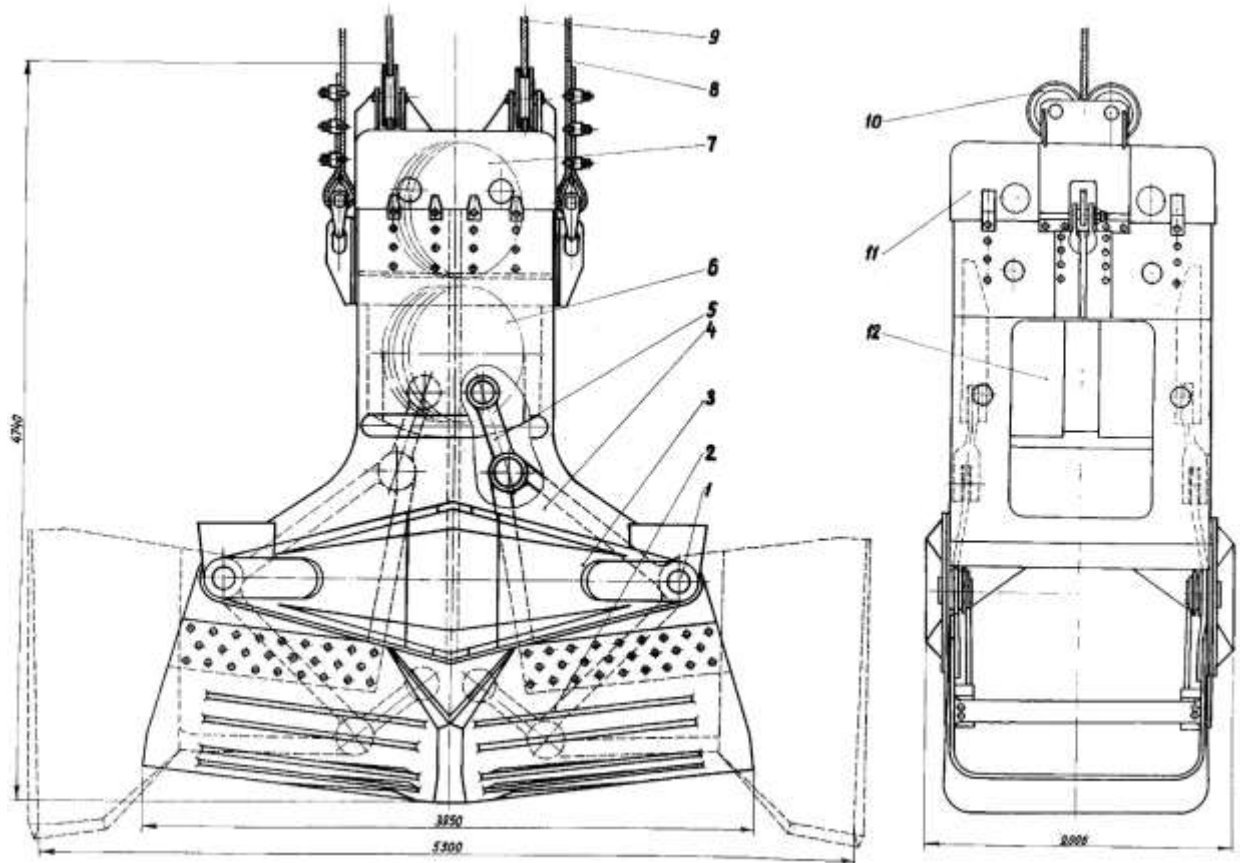


Рисунок 1.7 – Грейфер конструкції заводу «Запоріжсталь»

($V_{гр} = 6,5 \text{ м}^3$, $Q_{гр} = 16,12 \text{ т}$)

На рис. 1.7 представлена схема грейфера конструкції заводу «Запоріжсталь», ємністю $V_{гр} = 6,5 \text{ м}^3$, вагою $Q_{гр} = 16,12 \text{ т}$. Грейфер відноситься до класу коротколанкових (рис. 1.2 в). Призначений для роботи з рудно-шихтових матеріалів. Грейфер складається з щелеп 2, підвішуються на валиках 1 до кожуху 4. Для посилення дві щелепи пов'язані двома бічними щоками 3. Другою точкою підвісу щелепи через важелі 5 з'єднані з рухомою траверсою 12. Підйомні канати охоплюють рухомі блоки, що знаходяться в рухомій траверсі, і нерухомі, що знаходяться в головці грейфера. При опусканні замикаючих канатів 9 траверса спускається вниз і тисне через важелі на щелепу. Щелепа під впливом власної ваги і ваги рухомої траверси провертається навколо осі 1. У розкритому положенні грейфер зображений на рис. 2 пунктиром.

Піддон щелепи має поздовжні ребра жорсткості. Ріжуча частина піддона посилена, для компенсації зносу. Піддон виконаний зі сталі Г13. Для запобігання зносу підйомного каната в голівці грейфера встановлені 2 пари напрямних роликів 10. Грейфер має подвійний поліспаст кратністю $a_n = 5$. Осі блоків вертикального поліспасти розташовані під кутом для зменшення зносу канатів. Власна вага грейфера - 16т.

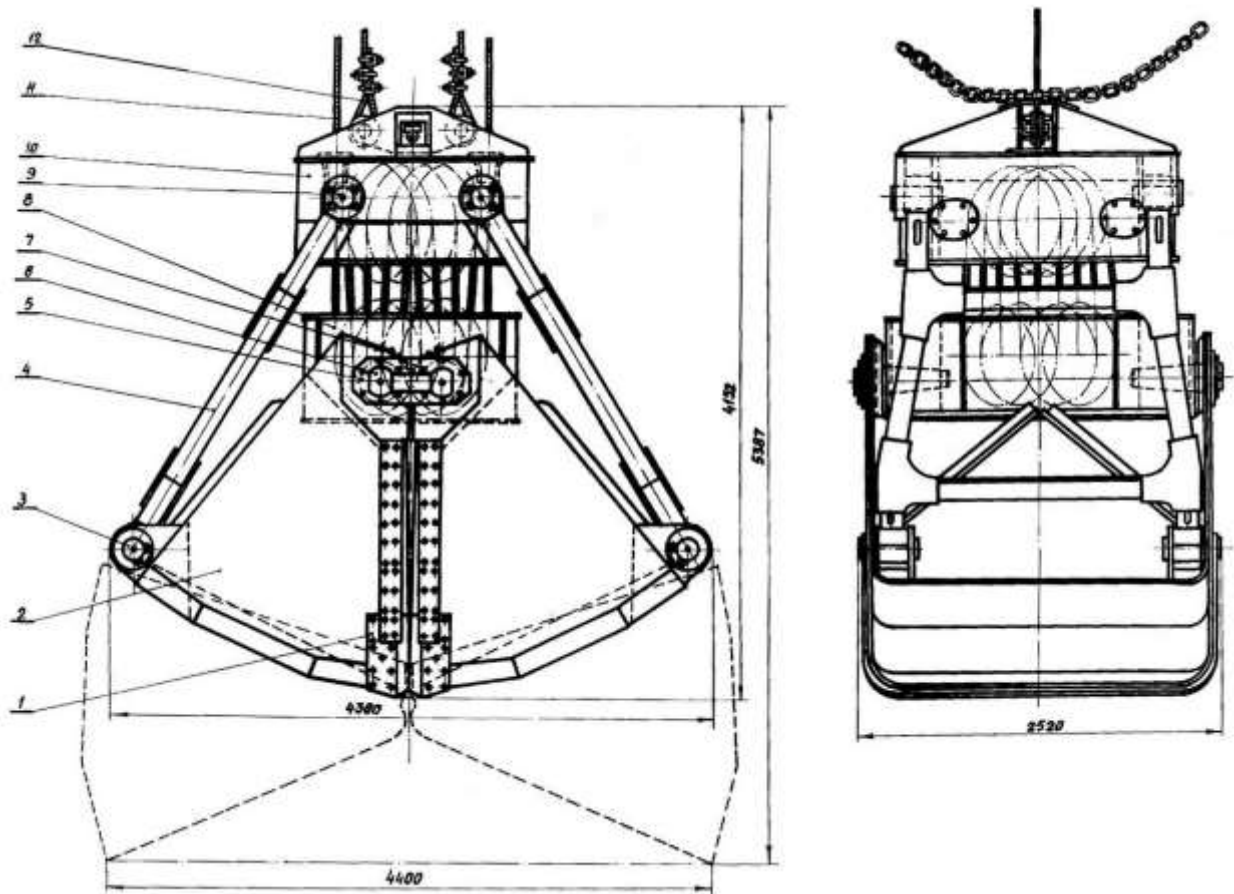


Рисунок 1.8 – Грейфер фірми “Bleichert” ($V_{гр} = 5,6\text{м}^3$, $Q_{гр} = 16\text{т}$)

На рис. 1.8 представлена схема грейфера конструкції фірми "Bleichert", ємністю $V_{гр} = 5,6\text{м}^3$, масою $Q_{гр} = 16\text{т}$. Грейфер відноситься до класу звичайних (довголанкових / штангових - рис. 1.2б). Рухома траверса 8 з'єднується з нерухомою 10 за допомогою подвійного вертикального поліспасти кратністю $a_n = 5$. Верхня і нижня траверса мають по 4 блоки. У точці підвісу до рухомої траверси щелепи 2 мають зубчасті сектори 7. При змиканні і розмиканні

щелеп, сектори обкатуються одне за одним, забезпечуючи симетричність розкриття щелеп. Піддон щелепи має ступінчасту форму.

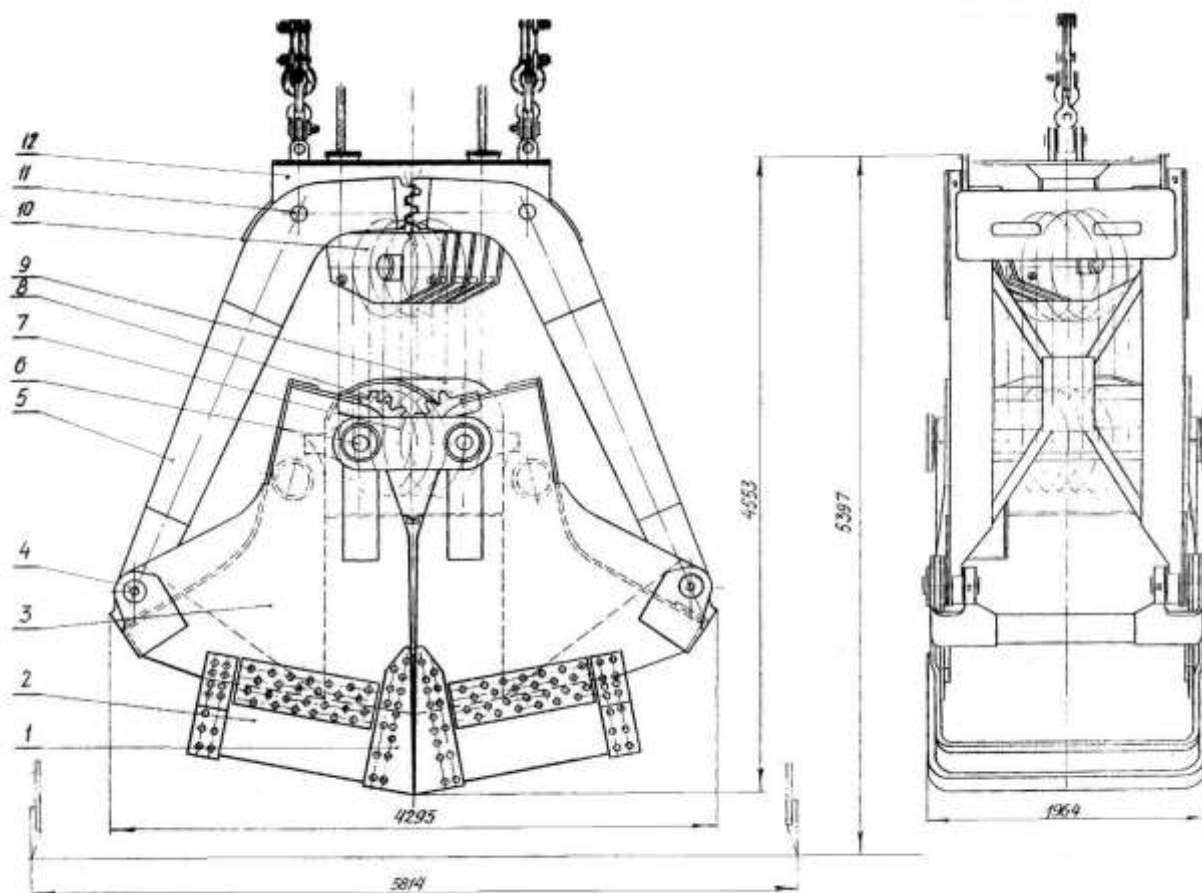


Рисунок 1.9 – Грейфер конструкції заводу «Запоріжсталь»
(реконструкція грейфера "Bleichert"; $V_{гр} = 5,67\text{м}^3$, $Q_{гр} = 19,3\text{т}$)

На рисунку 1.9 представлена схема грейфера конструкції заводу «Запоріжсталь». Ємність грейфера $V_{гр} = 5,6\text{м}^3$, маса $Q_{гр} = 19,3\text{т}$. Даний грейфер розроблений на підставі грейфера фірми "Bleichert", але посилені щелепи і коробка нижніх блоків. Для посилення зв'язку між щелепами встановлені стягуючі накладки.

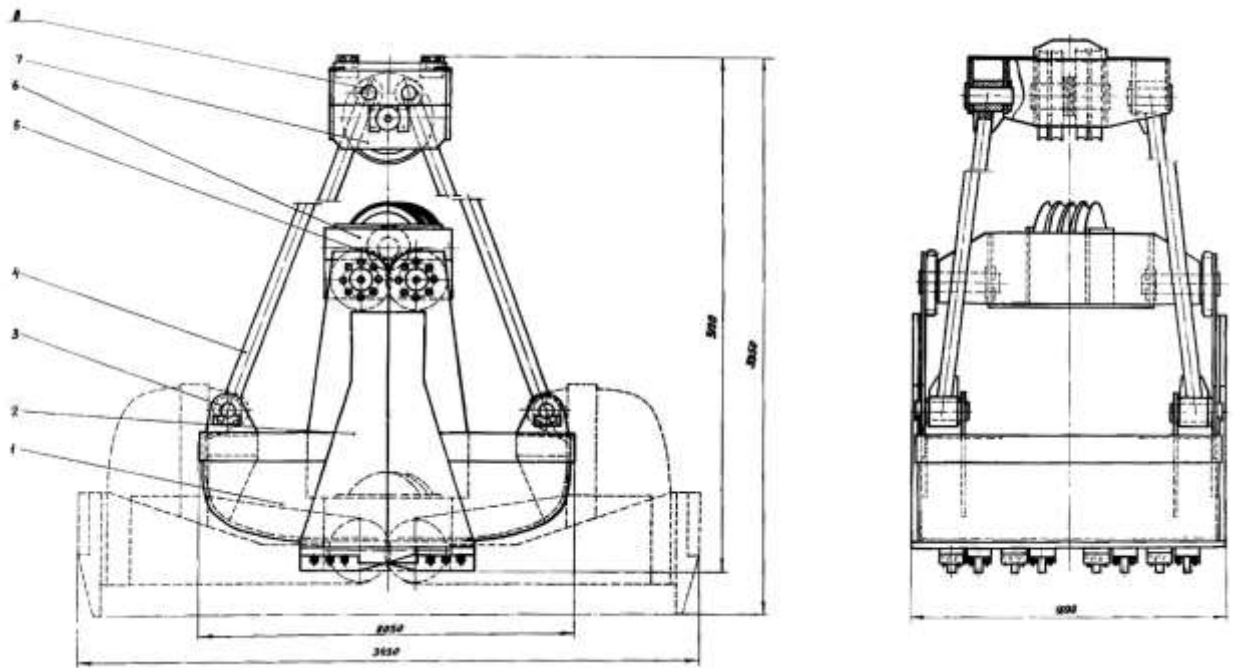


Рисунок 1.10 – Грейфер Дніпровського алюмінієвого заводу
($V_{гр} = 3\text{м}^3$, $Q_{гр} = 3,83\text{т}$)

Далі розглянемо грейфери інших підприємств металургії. На рисунку 1.10 представлена схема грейфера «Дніпровського алюмінієвого заводу». Ємність грейфера $V_{гр} = 3\text{м}^3$, маса $Q_{гр} = 3,83\text{т}$.

Слід зазначити, що характеристики перевантажуваних матеріалів Дніпровського алюмінієвого заводу відрізняються від матеріалів заводу Запоріжсталь (грейфери рис. 1.7 ... 1.9). Даний грейфер працює різними бокситами, що характеризуються об'ємною вагою $\gamma_m = 1,5 \dots 2,1 \text{ т/м}^3$ і розміром шматків 80 ... 300мм. За конструкцією даний грейфер є класичним прикладом довголанкового (штангового / звичайного) грейфера (рис. 1.2 б).

Щелепи грейфера забезпечені зубами, так як він працює з великокусковим матеріалом.

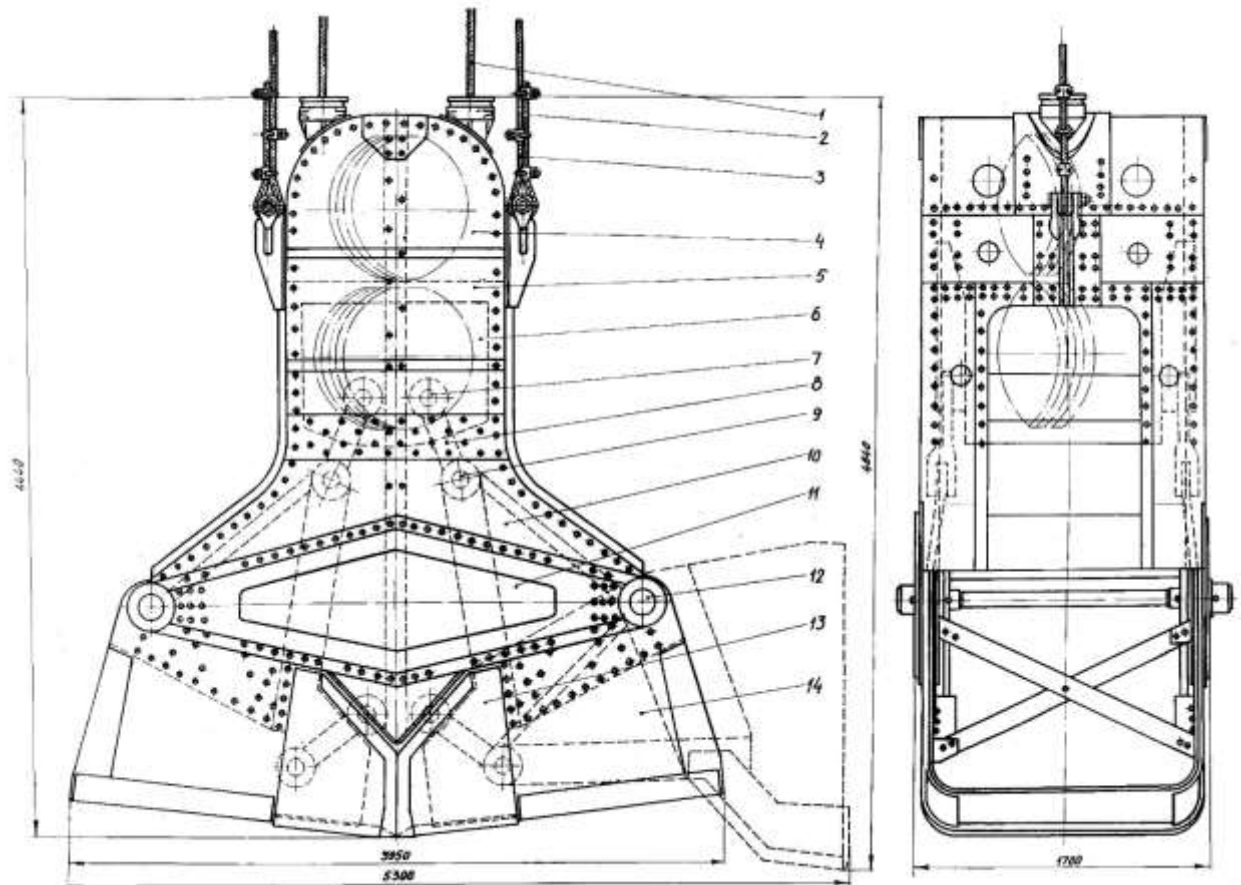


Рисунок 1.11 – Грейфер заводу ім. Кірова, м. Макіївка
($V_{гр} = 6,5\text{м}^3$, $Q_{гр} = 12,78\text{т}$)

На рисунку 1.11 представлена схема грейфера конструкції заводу ім. Кірова (м.Макіївка). Цей завод виконує операції аналогічні операціям грейферів заводу «Запоріжсталь» (рис. 1.7 ... 1.9) Ємність грейфера $V_{гр} = 6,5\text{м}^3$, вага $Q_{гр} = 12,78\text{т}$. Даний грейфер має клепаний корпус. Конструкція аналогічна грейферу конструкції заводу «Запоріжсталь» (рисунок 1.7). Грейфер також обладнаний подвійним вертикальним поліспастом кратністю $a_{п} = 5$.

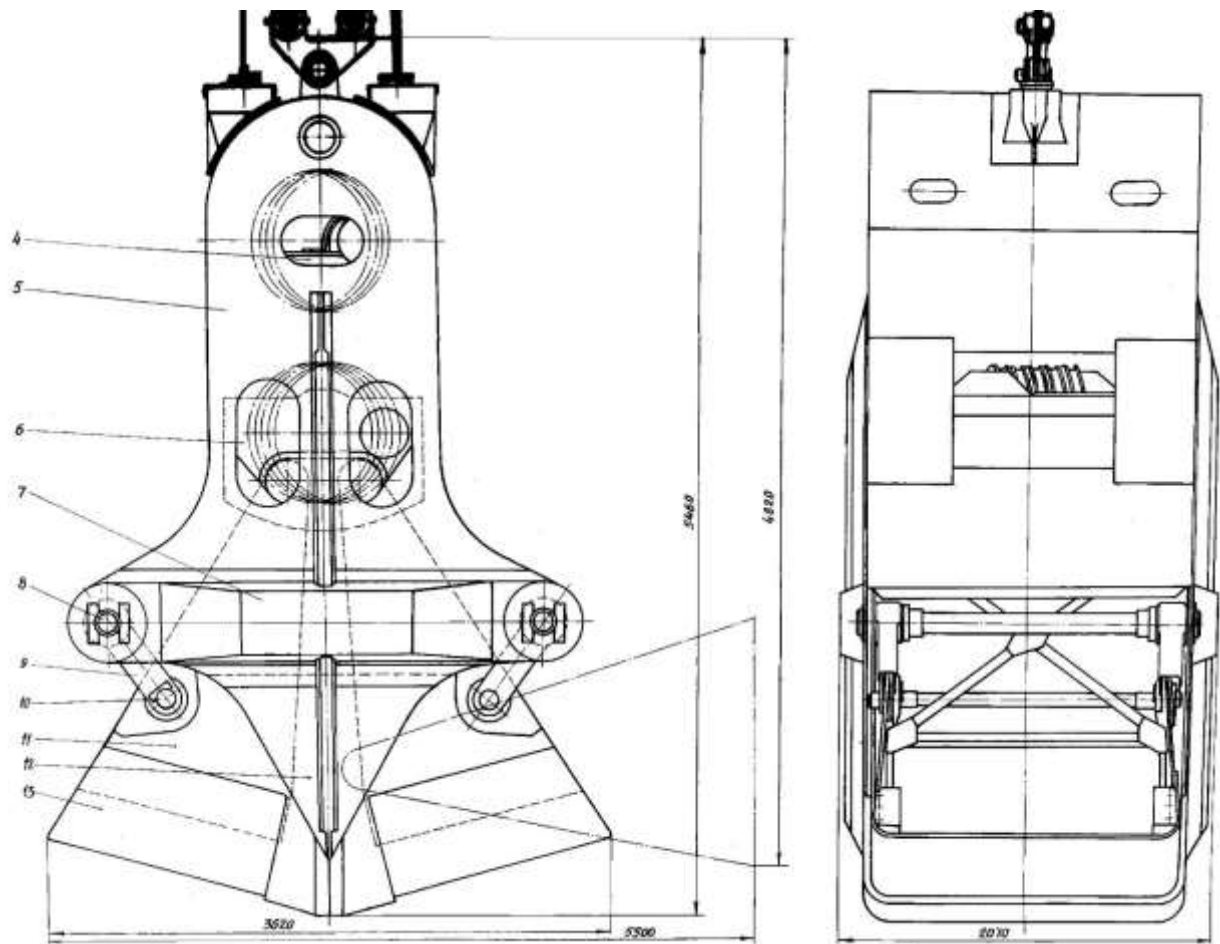


Рисунок 1.12 – Грейфер заводу ім. Петровського, м. Дніпро
 $(V_{гр} = 5,8\text{м}^3, Q_{гр} = 14,9\text{т})$

Розглянемо грейфер заводу ім. Петровського, м.Дніпро. Матеріали, що перевантажуються даним грейфером мало відрізняються від матеріалів заводу «Запоріжсталь». На рисунку 1.12 представлена схема даного грейфера. Ємність грейфера $V_{гр} = 5,8\text{м}^3$, вага $Q_{гр} = 14,9\text{т}$. Поліспаст - подвійний вертикальний, кратністю $a_{п} = 5$.

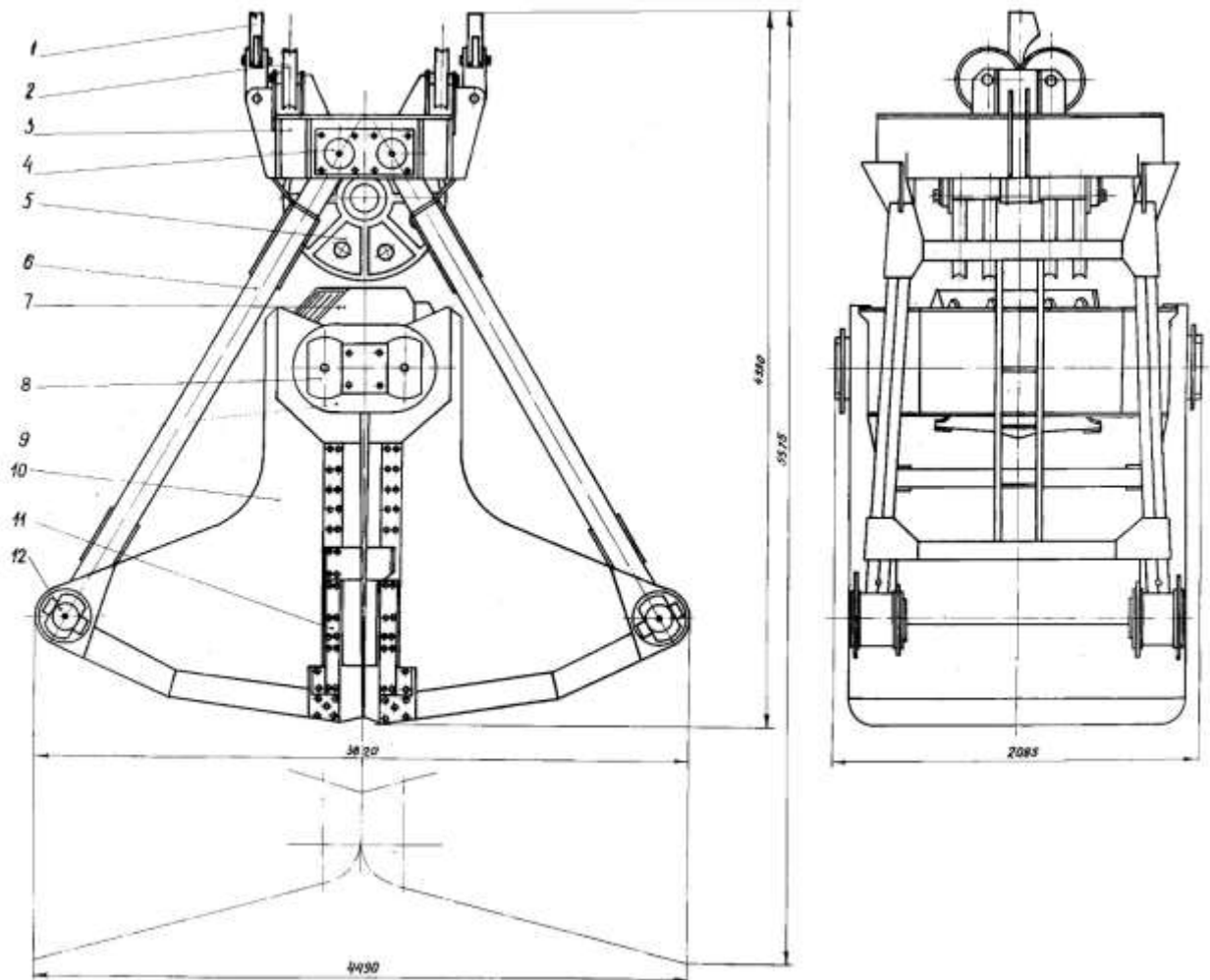


Рисунок 1.13 – Грейфер Криворізького металургійного заводу
($V_{гр} = 6,5\text{м}^3$, $Q_{гр} = 12\text{т}$)

Останнім з представлених в даній роботі є грейфер «Криворізького металургійного заводу». Матеріали, що перевантажуються даним грейфером також схожі з матеріалами заводу «Запоріжсталь». Даний грейфер (рисунок 1.13) має ємність $V_{гр} = 6,5\text{м}^3$, вагу $Q_{гр} = 12\text{т}$. Поліспаст - подвійний вертикальний, кратністю $a_{п} = 5$.

1.4.2 Порівняльний аналіз грейферів підприємств чорної і кольорової металургії України

Оцінимо ступінь кінематичної досконалості розглянутих грейферів. Для цього використовуємо такі критерії:

1. Кратність і розташування поліспада;
2. Кінематичне передаточне відношення i_c ;
3. Траєкторію руху ножа щелепи в матеріалі.

Як видно з п. 1.4.1, всі грейфери мають подвійний вертикальний поліспаст кратністю $a_n = 5$. Зі збільшенням кратності поліспада можна досягти збільшення зачерпуючої здатності [2].

Кінематична схема і розмірні співвідношення грейфера впливають на зачерпуючу здатність. Спробуємо оцінити вдалість кінематичної схеми і розмірів (рис. 1.7 ... 1.13) за допомогою характеристики - кінематичне передаточне відношення i_c . i_c визначається, як відношення ходу замикає каната до відповідного горизонтальному переміщенню кромки щелепи. По мірі змикання щелеп кінематичне передаточне відношення змінюється. Але було знайдено, що при даному середньому значенні i_c , характер його зміни мало впливає на зачерпуючу здатність.

Л. Малєєв встановив, що відносна зачерпуюча здатність залежить від передаточного числа наступним чином:

$$K = m \cdot \sqrt{i_c} \quad (1.1)$$

В таблиці 1.3 представлені основні характеристики аналізованих конструкцій, їх геометричні параметри, а також знайдені кінематичні передаточні числа.

Виходячи з визначеного кінематичного передаточного числа (табл. 1.3) найбільш вдалою є звичайна (довголанкова) конструкція рудного грейфера (рис. 1.2 б).

Розглянемо тепер масові характеристики використовуваних грейферів. Відповідно до ГОСТ 24599-87 (додаток 1, табл. 2), для підвищення економічної ефективності перевантажувальних робіт, власна вага канатного грейфера не повинна перевищувати встановлену частину великої вантажопідємності крана. Для наших типів перевантажувачів матеріалів це:

$$Q_{гр} \leq 0,4 \cdot Q_{крана}.$$

Таблиця 1.3 - Кинематичне передаточне число рудних грейферів

Грейфер	Вага, т	Об'єм, м ³	Хід траверси, мм	Розмах відкритих щелеп, мм	Кратність поліспада	Кинематичне передаточне число
Запоріжсталь (рис. 1.7)	16,12	6,5	1880	5300	5	3,58
Bleichert (рис. 1.8)	16	5,6	2360	4400		5,35
Запоріжсталь/ Bleichert (рис. 1.9)	19,3	5,67	2650	5814		4,55
Дніпровський завод (рис. 1.10)	3,83	3	1420	3430		4,15
зав. ім. Кірова (1.11)	12,78	6,5	1840	5300		3,49
зав. ім. Петровського (рис. 1.12)	14,9	5,8	1730	5500		3,14
Криворізький завод (рис. 1.13)	12	6,5	2640	4490		5,88

Таблиця 1.4 - Масові характеристики рудних грейферів

Грейфер	Вага грейфера, т	Об'єм, м ³	Вантажопідйомність перевантажувача, т	$Q_{ван} / Q_{крану}$	Зачерпуємий матеріал
Запоріжсталь (рис. 1.7)	16,12	6,5	30	0,54	концентрат руди
Bleichert (рис. 1.8)	16	5,6	30	0,535	руда
Запоріжсталь/ Bleichert (рис. 1.9)	19,3	5,67	30	0,641	руда
Дніпровський завод (рис. 1.10)	3,83	3	10	0,383	боксит
зав. ім. Кірова (1.11)	12,78	6,5	30	0,425	концентрат руди
зав. ім. Петровського (рис. 1.12)	14,9	5,8	30	0,496	руда
Криворізький завод (рис. 1.13)	12	6,5	25	0,48	концентрат руди

Як видно з табл. 1.4, ГОСТ 24599-87 не відповідають практично всі грейфери, за винятком працюючого на дніпровському алюмінієвому заводі. Але цей грейфер значно відрізняється від інших по вантажопідйомності і типу перевантажуваних матеріалів, тому виключимо його з порівняння. Для найбільш поширених в металургії рудних перевантажувачів ($Q \approx 30$ т) жоден з наведених вище грейферів не задовольняє вимогам ГОСТ 24599-87. Найбільш близькою до нормативу по масі конструкцією є грейфер заводу ім. Кірова з співвідношенням $Q_{гр}/Q_{крана} = 0,425$ (рис. 1.11). Наступним вдалим рішенням бачиться грейфер Криворізького мет. заводу, $Q_{гр}/Q_{крана} = 0,48$ (рис. 1.13). До того ж, кінематично його конструкція більш краща.

Підводячи висновки даного розділу можна сказати, що грейфери великої вантажопідйомності ($m_{\text{матеріала}} \geq 10\text{т}$) для рудних матеріалів ($\gamma_{\text{м}} = 1,5 \dots 2,8 \text{ т/м}^3$), експлуатовані на металургійних підприємствах України не виправдано важкі і не відповідають нормам ГОСТ 24599-87 . З застосовуваних конструкцій канатних рудних грейферів, найбільш підходящою для даного виду матеріалів слід визнати грейфер нормальної / довголанкової конструкції (рис. 1.26), експлуатований на Криворізькому металургійному заводі (рис. 1.13). Для підвищення його ефективності можна рекомендувати підвищення кратності замикаючого поліспада. Даний грейфер далі буде взятий за аналог при проектуванні оптимального канатного рудного грейфера (розділ 3).

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАЧЕРПУВАННЯ МАТЕРІАЛУ ГРЕЙФЕРОМ

2.1 Поведінка сипучого середовища при зачерпуванні

Даний підрозділ присвячений пластичної течії ідеально сипучого середовища та визначення опору при зачерпуванні.

Наведемо рішення задачі про вертикальне впровадження плоского індентора в сипучу середу. Запропонуємо розрахункові залежності для визначення торцевого і бічного тиску на індентор з урахуванням швидкості руху індентора в сипуче середовище.

Численні дослідження показали, що найбільш прийнятною моделлю для ідеалізації сипучого середовища є ідеальний матеріал, який поводить себе пружно аж до деякого напруженого стану, при якому починається пластична течія. На відміну від ідеально пластичного, сипучий матеріал має більш складний критерій плинності. У випадку плоскої деформації він називається критерієм О. Мора - Ш. Кулона (1773) і виглядає так:

$$\sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2} = c \cdot \cos(\varphi) - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \cdot \sin(\varphi), \quad (2.1)$$

де σ_x , σ_y , τ_{xy} - компоненти напруження; φ - кут внутрішнього тертя сипучого матеріалу, c — зчеплення матеріалу. Для ідеально сипучого середовища $c = 0$.

Використовуючи відоме графічне уявлення О. Мора для напруженого стану при плоскій деформації, критерій плинності (2.1) може бути представлений як умова дотичності кола Мора деяким прямим, нахиленим до вісі нормальних напружень під кутами $\pi \mp \varphi$ (рис. 2.1).

$$\begin{cases} \sigma_x = s \cdot [1 - \cos(2 \cdot \psi) \cdot \cos(2 \cdot \theta - 2 \cdot \psi)], \\ \sigma_y = s \cdot [1 + \cos(2 \cdot \psi) \cdot \cos(2 \cdot \theta - 2 \cdot \psi)] \\ \tau_{xy} = -s \cdot \cos(2 \cdot \psi) \cdot \sin(2 \cdot \theta - 2 \cdot \psi), \end{cases} \quad (2.3)$$

де $\psi = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$ — кут ковзання,

$$s = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} = \frac{I_1}{3} \quad \text{— середнє гiдростатичне напруження,}$$

I_1 - перший iнварiант тензора напружень. Тодi критерiй плинностi (2.1) задовольниться тотожно, а рiвняння (2.2) приймуть вид:

$$\begin{cases} A \cdot \frac{\partial s}{\partial x} + B \cdot \frac{\partial s}{\partial y} + C \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} + D \cdot \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0, \\ E \cdot \frac{\partial s}{\partial x} + F \cdot \frac{\partial s}{\partial y} + G \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} + H \cdot \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0, \end{cases} \quad (2.4)$$

де A, B, C та D — коефiцiєнт, який залежить вiд ψ i $\theta(x, y)$.

Рiвняння (2.4) називаються визначальними рiвняннями iдеально сипучого середовища. Їх вперше отримав Ф. Кеттер (1903). Академiк С.А. Христiановiч (1938) дослiджував систему (2.4) методами, розробленими А. Пуанкаре (1885), Р. Курантом i Д. Гильбертом (1937), i привiв її до канонiчного вигляду. Виявилось, що система (2.4) - гiперболiчного типу, а її характеристики збiгаються з лiнiями ковзання.

Автором [10] аналітично доведено, що при вертикальному вдавлюванні iндентора, що представляє собою довгу пластину, в iдеально сипучу середу сiтка характеристик для областi пластичної течії має вигляд (рис. 2.2), тиск на торці ОВ iндентора визначається формулою Л. Прандтля - Г. Рейсснера (1920):

$$\sigma_T = p = q \cdot \operatorname{ctg}^2(\psi) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{ctg}(2 \cdot \psi)} = \mu_T \cdot q, \quad (2.5)$$

а нормальний тиск сипучого середовища на бiчні стiнки iндентора уздовж лiнiй ОН i ВК постiйно i дорiвнює

$$\sigma_B = 2 \cdot \cos^2(\psi) \cdot e^{(\pi - 2 \cdot \psi) \operatorname{ctg}(2 \cdot \psi)} \cdot q = \mu_B \cdot q, \quad (2.6)$$

де h - глибина впровадження індентора, $q = \gamma \cdot h$ - так називається «бічна пригрузка» від ваги шару зачерпуючого матеріалу висотою h , μ_T і μ_B — коефіцієнт пропорційності, e — основа натурального логарифму.

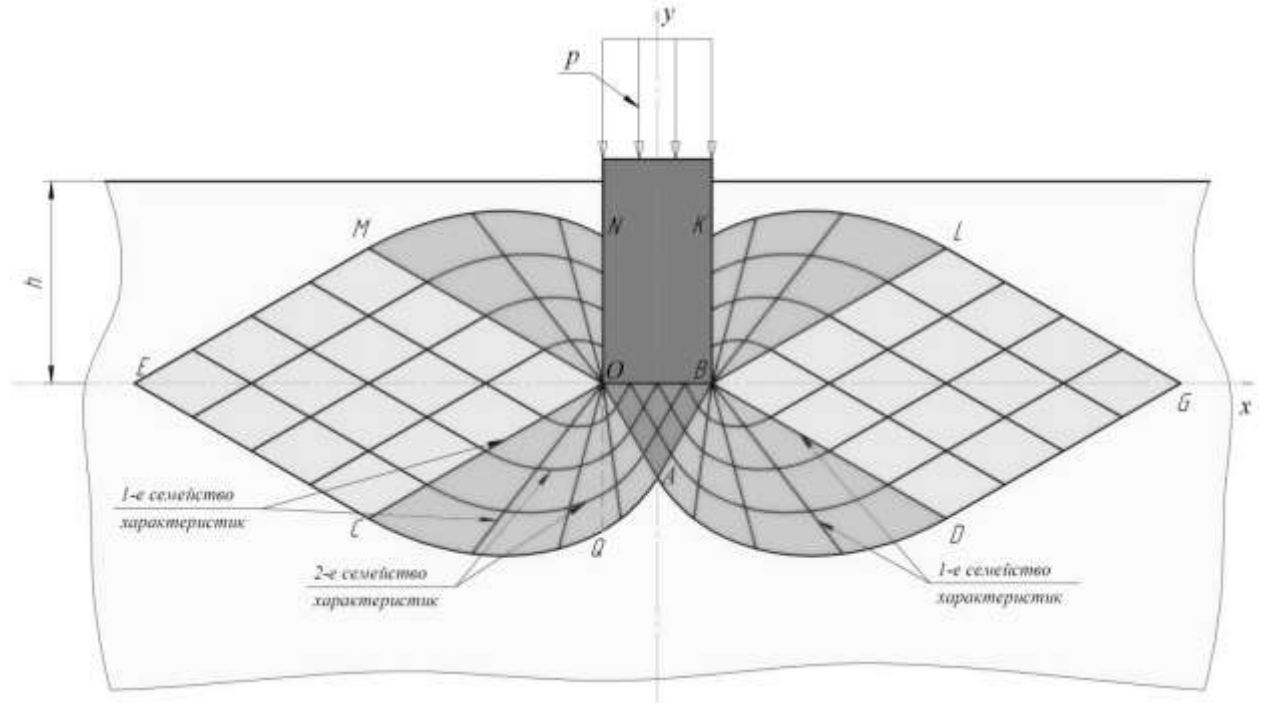


Рисунок 2.2 - Сітка характеристик при вдавлюванні плоского індентора нескінченної довжини в силучу середу. Поперечний переріз

Для сухого піску з кутом внутрішнього тертя $\varphi = 30^\circ$ кут ковзання дорівнює $\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{4} = 30^\circ$, а коефіцієнти пропорційності дорівнюють $\mu_T = 18.4$, $\mu_B = 5.02$.

Ф.Б. Філяков (1972, 2004), провівши великі експериментальні дослідження, виявив, що опір впровадженню індентора істотно залежить від швидкості, і запропонував враховувати це коефіцієнтом динамічної рухливості матеріалу в формулах Р.Л. Зенкова. Спираючись на експериментальні дані А.Б. Філякова, автор [10] пропонує замість модифікованих (А.Б. Філякова) формул Р.Л. Зенкова використовувати модифіковану формулу Л. Прандтля - Г. Рейснера (2.5) і формулу (2.6), вважаючи умовно, що кут динамічного ковзання ψ_0 залежить від швидкості

так, як показано на рисунку 2.3. Тоді коефіцієнти пропорційності μ_T і μ_B теж будуть залежати від швидкості впровадження індентора.

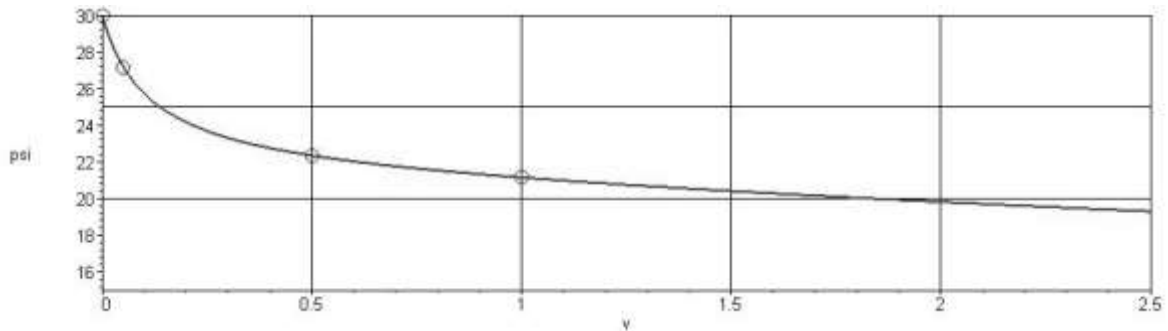


Рисунок 2.3 - Графік залежності кута динамічного ковзання (в градусах) від швидкості v (в м / с) руху індентора в сухому піску

Виходячи з вище сказаного, опір вертикальному впровадженню та змикання щелеп можна визначати за методикою Б.А. Таубера і А.Б. Филякова з використанням формул (2.5) і (2.6), і - з урахуванням прийнятої залежності кута ψ_0 (рис. 2.3) від швидкості.

Щелепу рекомендується розглядати в 6-ти положеннях: від початкового заглиблення до моменту змикання щелеп (див. рис. 2.4). Алгоритм визначення опору при вертикальному впровадженні та змикання щелеп перспективно реалізувати в комп'ютерній програмі.

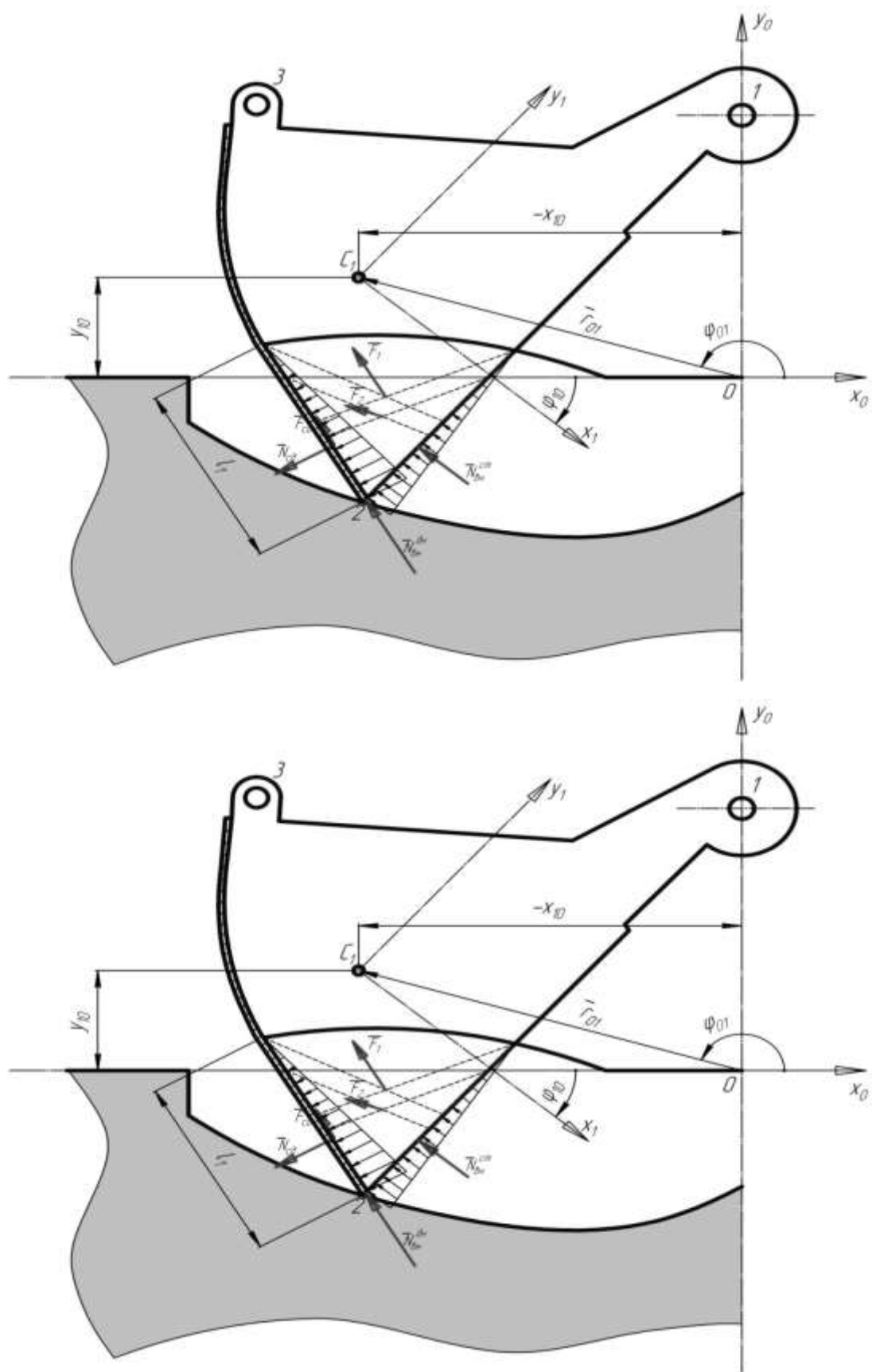


Рисунок 2.4 - Навантаження, що діють на щелепу в проміжних положеннях (3, 4).

2.2 Математичне моделювання роботи грейферного механізму при зачерпуванні

Як було зазначено раніше, аналіз руху грейфера є найважливішим етапом його розрахунку.

Розглянемо рух нафтового грейфера (рис. 2.5), коли він опущений на зачерпуючий матеріал і відбувається змикання щелеп за рахунок роботи замикаючої лебідки. Вважаємо, що опір на щелепах буде однаковим.



Рисунок 2.5 – Штанговий грейфер

Припустимо, що:

- 1) Верхня і нижня траверси грейфера рухаються вертикально, вздовж нерухомої осі O_{y0} (рис. 2.6);
- 2) Точки 2 щелеп грейфера весь час знаходяться в контакті з наперед заданої кривої зачерпування $P-Q$ [2];
- 3) Всі ланки грейфера здійснюють плоский рух у вертикальній площині (в так званій площині зачерпування [2]).

Розглянемо механізм, що складається з щелепи масою m_1 , верхньої траверси масою $m_3/2$ і тяги вагою $2m_2$ (рис. 2.6). За рухом цього механізму будемо судити про рух елементів грейфера.

Будемо розглядати рух цього механізму як набір невільних твердих тіл [11], вважаючи, що для кожного з ланок відомі координати центру ваги, маса m_i і центральний момент інерції J_i .

Вважаємо, що для кожного тіла заданий також набір точок (будемо називати їх контактними), в яких це тіло контактує з будь-якими іншими тілами той чи інший спосіб.

Для кожної ланки (рис. 2.6) введемо пов'язану (з ним) систему відліку x_i, y_i , початок якої сумісний з центром тяжіння. Тоді положення пов'язаних осей відносно нерухомої системи відліку x_0, y_0 буде задаватися набором $x_{i0}, y_{i0}, \varphi_{i0}$. У зв'язаній системі відліку контактні точки зручно задавати полярними координатами r_{ij}, φ_{ij} , де індекс i відповідає номеру тіла ($i = 1, 2, \dots, n$), j - номер контактної точки ($j = 1, 2, \dots, m$).

Кожна ланка може бути розглянуто як вільне тіло, що знаходиться під дією зовнішніх сил (і моментів) і реакцій зв'язків [12, 13].

Введемо позначення:

- φ_{10} - кут повороту рухомої системи відліку $C_1x_1y_1$ (ПСО-1), пов'язаної з щелепою 1, відносно нерухомої Ox_0y_0 ;

- (r_{11}, φ_{11}) - полярні координати точки 1 в ПСО-1;

- (r_{12}, φ_{12}) - полярні координати точки 2 в ПСО-1;

- (r_{13}, φ_{13}) - полярні координати точки 3 в ПСО-1;

- (x_{10}, y_{10}) - координати центру ваги $C1$ щелепи 1 в нерухомій системі відліку Ox_0y_0 ;

- F^x_{10}, F^y_{10} - проекції головного вектора зовнішніх сил, що діють на щелепу, на осі Ox_0 і Oy_0 відповідно; M_{10} - головний момент зовнішніх сил, прикладених до щелепи;

- φ_{20} - кут повороту рухомої системи відліку $C_2x_2y_2$ (ПСО-2), пов'язаної з тягою 2, відносно нерухомої Ox_0y_0 ;

- (r_{23}, φ_{23}) - полярні координати точки 3 в ПСО-2;
- (r_{24}, φ_{24}) - полярні координати точки 4 в ПСО-2;
- (x_{20}, y_{20}) - координати центру ваги C_2 тяги в нерухомій системі відліку Ox_0y_0 ;
- F^x_{20}, F^y_{20} - проекції головного вектора зовнішніх сил, що діють на тягу, на осі Ox_0 і Oy_0 відповідно; M_{20} - головний момент зовнішніх сил, прикладених до тяги;
- φ_{30} - кут повороту рухомої системи відліку $C_3x_3y_3$ (ПСО-3), пов'язаної з верхньою траверсой, відносно нерухомої Ox_0y_0 ;
- (r_{34}, φ_{34}) - полярні координати точки 4 в ПСО-3;
- (x_{30}, y_{30}) - координати центру ваги C_3 верхньої траверси в нерухомій системі відліку Ox_0y_0 ;
- F^y_{30} - проекція головного вектора зовнішніх сил, що діють на верхню траверсу, на вісь ось Oy_0 .

Припустимо, що точка 1 рухається уздовж осі Oy_0 . Це накладає наступне обмеження на рух цієї точки:

$$x_{10} + r_{11} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{11}) = 0 \quad (3.1)$$

Нехай рівняння кривої зачерпування P - Q [2]:

$$\begin{cases} y = \eta(x) = -e + A \cdot (x + d)^2, \\ -\frac{L}{2} \leq x \leq 0. \end{cases}$$

$$A = \frac{e - b}{\left(\frac{L}{2} - d\right)^2};$$

де b – початкове заглиблення грейфера;

а $(-d, -e)$ - координати точки з найбільшим заглибленням H в системі координат x_0Oy_0 (рис. 3.2);

L - величина розкриття щелеп.

Точка 2 щелепи ковзає уздовж кривої зачерпування, тому:

$$y_{10} + r_{12} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{12}) = \eta \cdot [x_{10} + r_{12} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{12})] \quad (3.2)$$

В точці 3 - циліндричний шарнір; ця точка - загальна для щелепи і тяги.
Ця умова дає два рівняння зв'язку:

$$\begin{cases} x_{10} + r_{13} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{13}) = x_{20} + r_{23} \cdot \cos(\varphi_{20} + \varphi_{23}), \\ y_{10} + r_{13} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{13}) = x_{20} + r_{23} \cdot \sin(\varphi_{20} + \varphi_{23}). \end{cases} \quad (3.3)$$

Точка 4 - загальна для тяги і верхньої траверси:

$$\begin{cases} x_{20} + r_{24} \cdot \cos(\varphi_{20} + \varphi_{24}) = x_{30} + r_{34} \cdot \cos(\varphi_{30} + \varphi_{34}), \\ y_{20} + r_{24} \cdot \sin(\varphi_{20} + \varphi_{24}) = x_{30} + r_{34} \cdot \sin(\varphi_{30} + \varphi_{34}). \end{cases} \quad (3.4)$$

Припускаємо, що точка C_3 рухається уздовж осі Oy_0 . В цьому випадку
- $x_{30} = 0$. Будемо вважати також, що верхня траверса рухається поступально:
 $\varphi_{30} = 0$, тому:

$$\begin{cases} x_{20} + r_{24} \cdot \cos(\varphi_{20} + \varphi_{24}) = r_{34} \cdot \cos(\varphi_{34}), \\ y_{20} + r_{24} \cdot \sin(\varphi_{20} + \varphi_{24}) = y_{30} + r_{34} \cdot \sin(\varphi_{34}). \end{cases} \quad (3.5)$$

Введемо наступні позначення:

$$\begin{cases} \Phi_1 = x_{10} + r_{11} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{11}), \\ \Phi_2 = y_{10} + r_{12} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{12}) - \eta \cdot [x_{10} + r_{12} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{12})], \\ \Phi_3 = x_{10} + r_{13} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{13}) - x_{20} - r_{23} \cdot \cos(\varphi_{20} + \varphi_{23}), \\ \Phi_4 = y_{10} + r_{13} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{13}) - y_{20} - r_{23} \cdot \sin(\varphi_{20} + \varphi_{23}), \\ \Phi_5 = x_{20} + r_{24} \cdot \cos(\varphi_{20} + \varphi_{24}) - r_{34} \cdot \cos(\varphi_{34}), \\ \Phi_6 = y_{20} + r_{24} \cdot \sin(\varphi_{20} + \varphi_{24}) - y_{30} - r_{34} \cdot \sin(\varphi_{34}). \end{cases} \quad (3.6)$$

Тоді рівняння зв'язку (3.1), (3.2), (3.3) і (3.5) можна записати так:

$$\Phi_1=0, \Phi_2=0, \Phi_3=0, \Phi_4=0, \Phi_5=0, \Phi_6=0. \quad (3.7)$$

Матричне рівняння кінетостатичної рівноваги половини грейферного механізму в формі рівнянь Лагранжа I роду буде виглядати наступним чином:

$$\begin{bmatrix} [M]_{7 \times 7} & [T]_{7 \times 6} \\ [T]_{6 \times 7}^T & [0]_{6 \times 6} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{\ddot{X}\}_{7 \times 1} \\ \{\lambda\}_{6 \times 1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{Q\}_{7 \times 1} \\ \{U\}_{6 \times 1} \end{Bmatrix}, \quad (3.8)$$

$$[M]_{7 \times 7} \cdot \{\ddot{X}\}_{7 \times 1} + [T]_{7 \times 6} \cdot \{\lambda\}_{6 \times 1} = \{Q\}_{7 \times 1}$$

$$[T]_{6 \times 7}^T \cdot \{\ddot{X}\}_{7 \times 1} + [0]_{6 \times 6} \cdot \{\lambda\}_{6 \times 1} = \{U\}_{6 \times 1}$$

У представленому рівнянні 3.8, члени:

$[M]_{7 \times 7}$ - матриця мас:

$$[M]_{7 \times 7} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \cdot m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \cdot m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \cdot J_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{m_3}{2} \end{bmatrix}, \quad (3.9)$$

$\{\ddot{X}\}_{7 \times 1}$ - вектор прискорення:

$$\{\ddot{X}\}_{7 \times 1} = [\ddot{x}_{10} \quad \ddot{y}_{10} \quad \ddot{\varphi}_{10} \quad \ddot{x}_{20} \quad \ddot{y}_{20} \quad \ddot{\varphi}_{20} \quad \ddot{y}_{30}]^T, \quad (3.10)$$

$\{\lambda\}_{6 \times 1}$ - вектор невизначених множників:

$$\{\lambda\}_{6 \times 1} = [\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \lambda_3 \quad \lambda_4 \quad \lambda_5 \quad \lambda_6]^T, \quad (3.11)$$

$\{Q\}_{7 \times 1}$ — вектор зовнішніх сил:

$$\{Q\}_{7 \times 1} = \begin{bmatrix} F_{10}^x & F_{10}^y & M_{10} & F_{20}^x & F_{10}^y & M_{20} & F_{30}^y \end{bmatrix}^T, \quad (3.12)$$

$$\{U\}_{6 \times 1} = \begin{bmatrix} U_1 & U_2 & U_3 & U_4 & U_5 & U_6 \end{bmatrix}^T, \quad (3.13)$$

$$[T]_{7 \times 6} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_{10}} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial x_{10}} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial x_{10}} & \frac{\partial \Phi_4}{\partial x_{10}} & \frac{\partial \Phi_5}{\partial x_{10}} & \frac{\partial \Phi_6}{\partial x_{10}} \\ \frac{\partial \Phi_1}{\partial y_{10}} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial y_{10}} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial y_{10}} & \frac{\partial \Phi_4}{\partial y_{10}} & \frac{\partial \Phi_5}{\partial y_{10}} & \frac{\partial \Phi_6}{\partial y_{10}} \\ \frac{\partial \Phi_1}{\partial \varphi_{10}} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial \varphi_{10}} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi_{10}} & \frac{\partial \Phi_4}{\partial \varphi_{10}} & \frac{\partial \Phi_5}{\partial \varphi_{10}} & \frac{\partial \Phi_6}{\partial \varphi_{10}} \\ \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_{20}} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial x_{20}} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial x_{20}} & \frac{\partial \Phi_4}{\partial x_{20}} & \frac{\partial \Phi_5}{\partial x_{20}} & \frac{\partial \Phi_6}{\partial x_{20}} \\ \frac{\partial \Phi_1}{\partial y_{20}} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial y_{20}} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial y_{20}} & \frac{\partial \Phi_4}{\partial y_{20}} & \frac{\partial \Phi_5}{\partial y_{20}} & \frac{\partial \Phi_6}{\partial y_{20}} \\ \frac{\partial \Phi_1}{\partial \varphi_{20}} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial \varphi_{20}} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi_{20}} & \frac{\partial \Phi_4}{\partial \varphi_{20}} & \frac{\partial \Phi_5}{\partial \varphi_{20}} & \frac{\partial \Phi_6}{\partial \varphi_{20}} \\ \frac{\partial \Phi_1}{\partial y_{30}} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial y_{30}} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial y_{30}} & \frac{\partial \Phi_4}{\partial y_{30}} & \frac{\partial \Phi_5}{\partial y_{30}} & \frac{\partial \Phi_6}{\partial y_{30}} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

З огляду на нульові значення коефіцієнтів при невизначених множниках, запишемо:

$$[T]_{7 \times 6} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_{10}} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial x_{10}} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial x_{10}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial \Phi_2}{\partial y_{10}} & 0 & \frac{\partial \Phi_4}{\partial y_{10}} & 0 & 0 \\ \frac{\partial \Phi_1}{\partial \varphi_{10}} & \frac{\partial \Phi_2}{\partial \varphi_{10}} & \frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi_{10}} & \frac{\partial \Phi_4}{\partial \varphi_{10}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial \Phi_3}{\partial x_{20}} & 0 & \frac{\partial \Phi_5}{\partial x_{20}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial \Phi_4}{\partial y_{20}} & 0 & \frac{\partial \Phi_6}{\partial y_{20}} \\ 0 & 0 & \frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi_{20}} & \frac{\partial \Phi_4}{\partial \varphi_{20}} & \frac{\partial \Phi_5}{\partial \varphi_{20}} & \frac{\partial \Phi_6}{\partial \varphi_{20}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial \Phi_6}{\partial y_{30}} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Кожен стовпець матриці $[T]$ коефіцієнтів при невизначених множниках відповідає своїй функції зв'язку.

За допомогою програмного пакету MathCAD-14 обчислимо ненульові елементи матриці 3.15.

Ненульові елементи перших двох стовпців матриці (3.15) рівні:

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial x_{10}} = 1, \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial y_{10}} = 0, \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial \varphi_{10}} = -r_{11} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{11}), \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial \Phi_2}{\partial y_{10}} = 1, \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial \Phi_2}{\partial x_{10}} = -2 \cdot A \cdot [x_{10} + r_{12} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{12}) + d], \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_2}{\partial \varphi_{10}} &= r_{12} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{12}) + \frac{\partial \eta(u)}{\partial u} \cdot r_{12} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{12}) = r_{12} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{12}) + \\ &+ 2 \cdot A \cdot [x_{10} + r_{12} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{12}) + d] \cdot r_{12} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{12}). \end{aligned} \quad (3.21)$$

Ненульові елементи третього і четвертого стовпців матриці 3.15:

$$\frac{\partial \Phi_3}{\partial x_{10}} = 1, \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi_{10}} = -r_{13} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{13}), \quad (3.23)$$

$$\frac{\partial \Phi_3}{\partial x_{20}} = -1, \quad (3.24)$$

$$\frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi_{20}} = r_{23} \cdot \sin(\varphi_{20} + \varphi_{23}), \quad (3.25)$$

$$\frac{\partial \Phi_4}{\partial y_{10}} = 1, \quad (3.26)$$

$$\frac{\partial \Phi_4}{\partial \varphi_{10}} = r_{13} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{13}), \quad (3.27)$$

$$\frac{\partial \Phi_4}{\partial y_{20}} = -1, \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial \Phi_4}{\partial \varphi_{20}} = -r_{23} \cdot \cos(\varphi_{20} + \varphi_{23}) \quad (3.29)$$

Ненульові елементи п'ятого і шостого стовпців матриці 3.15:

$$\frac{\partial \Phi_5}{\partial x_{20}} = 1, \quad (3.30)$$

$$\frac{\partial \Phi_5}{\partial \varphi_{20}} = -r_{24} \cdot \sin(\varphi_{20} + \varphi_{24}), \quad (3.31)$$

$$\frac{\partial \Phi_6}{\partial y_{20}} = 1, \quad (3.32)$$

$$\frac{\partial \Phi_6}{\partial \varphi_{10}} = r_{24} \cdot \cos(\varphi_{20} + \varphi_{24}), \quad (3.33)$$

$$\frac{\partial \Phi_6}{\partial y_{30}} = -1. \quad (3.34)$$

Підсумкова матриця $[T]$ після обчислень комплексу MathCAD (рис. 2.7) має вигляд:

Елементи вектора $\{U\}_{6 \times 1}$ дорівнюють:

$$U_1 = r_{11} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{11}) \cdot \dot{\varphi}_{10}^2; \quad (3.35)$$

$$U_2 = 2 \cdot A \cdot \left[\dot{x}_{10} - r_{12} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{12}) \cdot \dot{\varphi}_{10} \right]^2 + r_{12} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{12}) \cdot \dot{\varphi}_{10}^2 - \quad (3.36)$$

$$- 2 \cdot A \cdot \left[x_{10} + r_{12} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{12}) + d \right] \cdot r_{12} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{12}) \cdot \dot{\varphi}_{10}^2;$$

$$U_3 = -\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi_{10}} \right) \cdot \dot{\varphi}_{10} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Phi_3}{\partial \varphi_{20}} \right) \cdot \dot{\varphi}_{20} = r_{13} \cdot \cos(\varphi_{10} + \varphi_{13}) \cdot \dot{\varphi}_{10}^2 - \quad (3.37)$$

$$- r_{23} \cdot \cos(\varphi_{20} + \varphi_{23}) \cdot \dot{\varphi}_{20}^2;$$

$$U_4 = -\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Phi_4}{\partial \varphi_{10}} \right) \cdot \dot{\varphi}_{10} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Phi_4}{\partial \varphi_{20}} \right) \cdot \dot{\varphi}_{20} = r_{13} \cdot \sin(\varphi_{10} + \varphi_{13}) \cdot \dot{\varphi}_{10}^2 - \quad (3.38)$$

$$- r_{23} \cdot \sin(\varphi_{20} + \varphi_{23}) \cdot \dot{\varphi}_{20}^2;$$

$$U_5 = -\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Phi_5}{\partial \varphi_{20}} \right) \cdot \dot{\varphi}_{20} = r_{24} \cdot \cos(\varphi_{20} + \varphi_{24}) \cdot \dot{\varphi}_{20}^2; \quad (3.39)$$

$$U_6 = -\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Phi_6}{\partial \varphi_{20}} \right) \cdot \dot{\varphi}_{20} = r_{24} \cdot \sin(\varphi_{20} + \varphi_{24}) \cdot \dot{\varphi}_{20}^2; \quad (3.40)$$

Відзначимо також, що:

$$\{U\}_{6 \times 1} = -[\dot{T}]_{6 \times 7}^T \cdot \{\dot{X}\}_{7 \times 1}; \quad (3.41)$$

де $[\dot{T}]_{6 \times 7}^T$ – матриця, отримана диференціюванням всіх елементів матриці (3.15) за часом.

Система (3.8) являє собою систему з 13-ти звичайних диференціальних рівнянь з 13-ма невідомими функціями часу.

Задавши початкові умови, можна проінтегрувати цю систему будь-яким з відповідних чисельних методів [14]: лінійного прискорення, центральних різниць, Хоболта, Ньюмарка і т. інш. на будь-якому відрізку часу.

Рівняння (3.8) може бути використано для визначення вектора прискорень $\{\ddot{X}\}$ і вектора невизначених множників $\{\lambda\}$ по заданих векторах координат $\{X\}$ і швидкостей $\{\dot{X}\}$ на початку кожного кроку інтегрування.

Висновки по розділу

Аналізуючи результати цього підрозділу, можна відзначити, що представлена математична модель дозволяє визначати параметри руху ланок рейферного механізму на будь-якому відрізку часу. Основу методики становить облік обмежень (рівнянь зв'язку) за допомогою невизначених множників Лагранжа. Матричний вигляд рівнянь (3.8) дозволяє формалізувати процес складання рівнянь руху для ЕОМ, наприклад, - на основі методу скінченних елементів. Недоліком такого підходу, безперечно, є об'ємність рішення задачі: для механізму з одним ступенем свободи довелося записати 13 диференціальних рівнянь. Але сьогодні для ЕОМ це вже не є істотним обмеженням.

Далі перспективно реалізувати дану математичну модель в програмному вигляді, для обчислення необхідних характеристик на ПК.

3 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ГРЕЙФЕР ТА ЙОГО ПРОЕКТУВАННЯ

3.1 Розрахунок базових параметрів грейфера

Вихідними даними при розрахунку грейфера [2, 15] є вантажопідйомність крана Q (або маса зачерпуючого матеріалу m_m) або ємність грейфера V_{gp} і вид перевантажуючого матеріалу, який визначається його фізико-механічними характеристиками. Для нашого випадку потрібні характеристики декількох видів матеріалів, тому що грейфер застосовується на рудному дворі металургійного підприємства.

Розрахунок грейфера [2, 15] полягає у визначенні його геометричних параметрів, мінімально допустимого значення його маси $m_{gp.min}$ за умовами міцності і жорсткості і максимально допустимого значення маси грейфера в завантаженому стані ($m_{gp.max} + m_m$) за вантажопідйомністю ВПМ. Після цього обчислюються кілька значень $m_{gp.i}$ в залежності від кратності внутрішнього поліспаста замикаючого канату і вибирається остаточно оптимальна величина m_{gp} (найбільш близька до $m_{gp.min}$) і відповідне їй кратність поліспаста.

Номінальний обсяг канатних двощелепний грейферів загального призначення по ГОСТ 24599-87 [Додаток 1] визначається як об'єм умовного геометричного тіла, окресленого пунктиром на рисунку 3.1, з кутом природного укосу τ_0 (таблиця 3.1) біля основи призми.

В якості вихідної, власну масу підгортаючого грейфера можна визначити як:

$$m_{gp.min} = (0,25...0,27)Q + 550\sqrt[3]{V^2} \quad (3.42)$$

де Q - вантажопідйомність крана, кг;

V - об'єм зачерпуючого матеріалу, м³.

Для рудних перевантажувачів металургійних підприємств найбільш поширені з великих грейферів мають такі характеристики (округлено): $Q = 30\text{ м}$; $V = 6\text{ м}^3$.

$$m_{zp.min} = (0,25...0,27) \cdot 30000 + 550\sqrt[3]{6^2} = 9316...9916\text{ кг}.$$

На підставі оцінки міцності і жорсткості ковша грейфера в залежності від його розмірів і навантаження мінімальну масу грейфера $m_{zp.min}$ можна оцінити за емпіричною залежності:

$$m_{zp.min} = V_{zp} \cdot \frac{B}{L} \cdot \rho_M \cdot T_0 \cdot d_0; \quad (3.43)$$

де B – ширина щелепи;

L – розмах щелепи (см. рис. 3.1);

ρ_M – насипна щільність зачерпнутого матеріалу, кг/м^3 , для найбільш важкого з перевантажуючих грейфером матеріалів (табл. 3.1) -концентрат залізорудного $\rho_M = 2900\text{ кг/м}^3$.

T_0 – коефіцієнт жорсткості (вуглецева сталь - 1,5, низьколегована – 1,2);

d_0 – коефіцієнт, що враховує вплив розміру шматків (сипучий матеріал – $d_0 = 0,8$; $a_{куска} < 0,1\text{ м}$ – $d_0 = 1$; $a_{куска} > 0,1\text{ м}$ – $d_0 = 1,2$);

$V_{zp} = V_{30}$ – розрахунковий обсяг грейфера по ГОСТ 24599 – 81, з умови, що кут при основі призми умовного вантажу дорівнює 30° (рис. 3.1);

B/L повинно знаходитися в діапазоні $0,4...0,75$.

Виходячи з рекомендацій [2], ширина щелепи для місткості 6 м^3 приймається:

Для дрібного сипучого ущільненого матеріалу $B = 2,13\text{ м}$;

Для середньо- і крупношматкового неущільненого матеріалу $B = 2,21\text{ м}$;

Для дрібного сипучого неущільненого матеріалу $B = 2,33\text{ м}$;

Для середньо- і крупношматкованого свіжонасипаного $B = 2,43\text{ м}$;

Для дрібного сипучого свіжонасипаного матеріалу $B = 2,5\text{ м}$.

Як видно з таблиці 1.2 металургійний грейферний перевантажувач транспортує матеріали всього діапазону крупності. У початковому наближенні приймемо:

$$B = 2,4 \text{ м.}$$

Необхідна умова: $B > 3 \cdot a_{\text{кустка.мах}}$ виконується.

Для наших типів перевантажуваних матеріалів, приймаємо $\psi = B / L = 0,55$. А значить розмах щелепи:

$$L = B / \psi = 2,4 / 0,55 = 4,4 \text{ м.} \quad (3.44)$$

При виготовленні грейфера зі сталі Ст3:

$$m_{\text{зр.мін}} = 6 \cdot 0,58 \cdot 2900 \cdot 1,5 \cdot 1 = 15138 \text{ кг};$$

При виготовленні грейфера з низьколегованої сталі:

$$m_{\text{зр.мін}} = 6 \cdot 0,58 \cdot 2900 \cdot 1,2 \cdot 1 = 12110 \text{ кг};$$

Необхідна власна маса грейфера з умови забезпечення необхідної зачерпуючої здатності визначається по залежності [2]:

$$m_{\text{зр}} = \frac{m_M \cdot \left[1 + k_\rho \cdot k_\phi \cdot \frac{\rho}{r} \cdot \text{tg}(\alpha_K + \phi) \cdot (1 + K_K) \cdot A_5 \right] + 2R_1 A_3 + 2k_\rho k_\phi \frac{\rho}{r} R_0 A_4}{g \left\{ [a_1 + 0,5a_4 + (n-1)]T_1 + \frac{r_3}{r} a_3 T_2 + 0,5a_4 T_3 \right\}} \quad (3.45)$$

Розглянемо по порядку всі складові цієї залежності.

$m_M = V_{\text{зр}} \cdot \rho_M$ - розрахункова маса зачерпнутого матеріалу;

$y_{\text{зр}}$ - середня глибина занурення щелепи.

З умови мінімізації енергетичних витрат [2], середню глибину занурення щелепи приймаємо:

$$y_{\text{зр}} = h_{\text{зр}} = B / 3,8. \quad (3.46)$$

Для нашого випадку: $y_{\text{зр}} = 2,4 / 3,8 = 0,63 \text{ м.}$

Виходячи з розрахованих вище геометричних розмірів, знайдемо передбачуване значення обсягу грейфера $V_{\text{зр}}$:

$$V_{\text{зр}} = B \cdot L \cdot h_{\text{зр}}; \quad (3.47)$$

$$V_{\text{зр}} = 2,4 \cdot 4,14 \cdot 0,63 = 6,26 \text{ м}^3;$$

З діапазону матеріалів табл. 1.2 вибираємо найбільш важкий - концентрат залізорудний $\rho_M = 2900 \text{ кг/м}^3$. Також ми розглянемо найбільш шматковий матеріал - вапняк крупношматковий $\rho_M = 1800 \text{ кг/м}^3$.

Максимально можлива маса зачерпнутого залізорудного концентрату:

$$m_M = 6,26 \cdot 2900 = 18154 \text{ кг};$$

Максимально можлива маса зачерпнутого вапняку крупношматкового:

$$m_M = 6,26 \cdot 1800 = 11268 \text{ кг};$$

$a_{1...4}$ – коефіцієнти, що характеризують розподіл маси грейфера між його частинами. Виходячи з рекомендацій [2]:

$$a_1 = \frac{m_{\Gamma}}{m_{\text{зр}}} = \frac{m_1}{m}; \quad (3.48)$$

m_{Γ} - маса головки ($m_{\Gamma} = 2m_1$);

$$a_3 = \frac{2m_{\text{ч}}}{m_{\text{зр}}} = \frac{m_3}{m}; \quad (3.49)$$

$m_3 = m_{\text{ч}}$ - маса щелепи;

$$a_4 = \frac{2m_{\text{тяг}}}{m_{\text{зр}}} = \frac{m_4}{m}; \quad (3.50)$$

$m_{\text{тяг}} = m_4$ - маса двох тяг, зв'язаних з одною щелепою;

$$m = 0,5 \cdot m_{\text{зр}};$$

$$m_4 = m_D + m_B = 0,5m_4 + m_B;$$

Для проектного розрахунку задамо: $a_1 = 0,25$; $a_2 = 0,2$; $a_3 = 0,45$; $a_4 = 0,1$.

Для довголанкового грейфера рекомендовані співвідношення геометричних характеристик: $\rho/r \approx 1,2$; $r_3/r \approx 0,8$ (рис. 3.1).

З умови мінімальних енергетичних витрат [2] кут нахилу днища α (рис. 3.1) в замкнутому стані повинен бути: $\alpha = 12 \dots 15^\circ$. Приймаємо щелепу з $\alpha = 12^\circ$ (рис. 3.1), при напівколовому днищі приймаємо розрахунковий кут $\alpha_k = 20^\circ$.

Початковий кут установки щелепи $\alpha_n = 90^\circ$, $\alpha_{cp} = 55^\circ$, кут нахилу щелепи - θ приймаємо за рекомендаціями [2] $\theta = 72^\circ$.

Товщина ножа щелепи залежить від насипної щільності зачерпнутого матеріалу:

$$\delta = \omega \cdot \rho_M \cdot \sqrt[3]{V_{zp}}; \quad (3.51)$$

коефіцієнт $\omega = 0,014$ – для крупношматкових матеріалів;

$\rho_M = 0,5 \dots 2,9 \text{ т/м}^3$ – діапазон значень насипної щільності (табл. 1.2);

$V_{zp} = 6,26 \text{ м}^3$;

$\delta = 0,013 \dots 0,075 \text{ м}$.

Вибираємо товщину щелепи для забезпечення різання найбільш важких з перевантажуємих матеріалів - $\delta = 0,07 \text{ м}$.

Так як грейфер зачерпує крупношматкові міцні матеріали, доцільно встановлювати зуби. Кількість зубів $N_0 = 4 \cdot B = 10 \text{ шт}$.

Задамося геометричними характеристиками ρ , r , r_3 (рис. 3.1):

$$\rho = \frac{L}{2 \cdot \cos(90 - \theta)}; \quad (3.52)$$

$$\rho = \frac{4,14}{2 \cdot \cos(90 - 72)} = 2,18 \text{ м};$$

$$r = \rho / 1,2 = 1,81 \text{ м}.$$

$$r_3 = r \cdot 0,8 = 1,81 \cdot 0,8 = 1,15 \text{ м}.$$

$$p_0 = \left[31 \cdot y_{cp} \cdot \rho_M \cdot f_0^2 + \tau' \cdot \left(31 \cdot f_0 - \frac{1}{f_0} \right) \right] \frac{\delta + a'}{\delta}; \quad (3.54)$$

де τ' - початковий опір матеріалу зрушенню (табл. 3.1);

f_0 - коефіцієнт внутрішнього тертя;

a' - розмір типового шматка.

Розрахунковий питомий опір агломерату залізної руди на глибині $y_{cp} = 0,63$ м при розмірі шматків 15 мм:

$$p_0 = \left[31 \cdot 0,63 \cdot 2000 \cdot 9,81 \cdot 0,75^2 + 0 \right] \frac{70 + 15}{70} = 268646 \text{ Па} \approx 270 \text{ кПа};$$

Розрахунковий питомий опір p_0 крупного вапняку на глибині $y_{cp} = 0,63$ м при розмірі шматків 100 мм:

$$p_0 = \left[31 \cdot 0,63 \cdot 1800 \cdot 9,81 \cdot 0,8^2 + 100 \left(31 \cdot 0,56 - \frac{1}{0,9} \right) \right] \frac{70 + 100}{70} = 539959 \text{ Па} \approx 540 \text{ кПа};$$

Розрахунковий питомий опір p_0 залізної руди рядовий на глибині $y_{cp} = 0,63$ м при розмірі шматків 70 мм:

$$p_0 = \left[31 \cdot 0,63 \cdot 2400 \cdot 9,81 \cdot 0,75^2 + 0 \right] \frac{70 + 70}{70} = 517241 \text{ Па} \approx 520 \text{ кПа};$$

Опір на ножі максимальний (перевантаження великого і середнього вапняку або рядової залізної руди):

$$R_1 = 2,4 \cdot 0,07 \cdot 540 = 91 \text{ кН}.$$

Таблиця 3.1 - Характеристики насипних матеріалів

Матеріал	Насипна щільність ρ_M , т/м ³	Кут природного спокою, град: α / рух	Кут внутрішнього тертя, град	Коефіцієнт зовнішнього тертя по сталі	Початковий опір зсуву τ_1 , Па	Коефіцієнт внутрішнього тертя f_0
Агломерат залізної руди	1,40-2,00	45...50 / 40...45	45	0,5...1,0		0,5...1,0
Залізньо-рудний концентрат	2,00-3,00	36...55 / 28...45	45	0,57...0,81		0,57...0,81
Залізна руда рядова	2,4...2,8	45...50 / 40...50	35-37	0,57-0,84		0,57-0,86
Вапняк крупнокусковий	1,60-2,00					
Вапняк середньокусковий	1,47-1,50		30-55	0,56-1,00	до 100	0,57-1,26
Вапняк мілкокусковий	1,19-1,45		39-50	0,66...0,76	100	0,8...1,2
Вапняк порошкоподібний	1,37					
Вапно негашене	0,64-0,85					
Вапно гашене	0,32-0,63			0,35		
Вапно шламове	0,64			0,6		
Кокс	0,36-0,63			0,47-0,81		0,52-1,19
Руда марганцева	1,70-2,00	36...45 / 32...40				0,9

Величину R_0 - опір при зсуві ножа на початку процесу зачерпування визначають за формулою:

$$R_0 = \frac{\rho_M \cdot g \cdot B \cdot y_0^2}{2} - \frac{\operatorname{tg}(\tau + \varphi_0) \cdot (1 + k_0)}{\operatorname{tg} \tau}; \quad (3.55)$$

$$y_0 = 0,25 \cdot L \cdot \operatorname{tg}(90 - \theta); \quad (3.56)$$

де θ – кут нахилу щелепи. Приймаємо $\theta = 72^\circ$.

$$y_0 = 0,25 \cdot 4,14 \cdot \operatorname{tg}(90 - 72) = 0,34 \text{ м.}$$

Коефіцієнт k_0 знаходимо по залежності:

$$k_0 = \frac{2 \cdot h_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}{3 \cdot B \cdot \operatorname{tg}^2 \tau \cdot \operatorname{tg}(\tau + \varphi_0)}; \quad (3.57)$$

$$k_0 = \frac{2 \cdot 0,34 \cdot \operatorname{tg} 45}{3 \cdot 2,4 \cdot \operatorname{tg}^2 30 \cdot \operatorname{tg}(30 + 45)} = 0,08;$$

Для агломерату:

$$R_0 = \frac{2500 \cdot 9,8 \cdot 2,4 \cdot 0,34^2}{2} - \frac{\operatorname{tg}(30 + 45) \cdot (1 + 0,08)}{\operatorname{tg} 30} = 3392 H$$

Виходячи з додатку 1, початковий опір впровадженню наших матеріалів:

Агломерат залізної руди: $0,210 \text{ т/м}^2$;

Залізорудний концентрат: $0,200 \text{ т/м}^2$;

Вапняк невеликий: $0,16 \text{ т/м}^2$;

Вапняк доменний: $0,330 \text{ т/м}^2$;

Вапно негашене: $0,18 \text{ т/м}^2$;

Кокс кам'яновугільний: $0,06 \text{ т/м}^2$;

Руда залізна для мартенівського виробництва: $0,38 \text{ т/м}^2$;

Руда марганцева: $0,18 \dots 0,33 \text{ т/м}^2$;

Окатиші залізорудні: $0,2 \text{ т/м}^2$;

Видно, що для більшості матеріалів $p_{0 \text{ поч.}} = 0,2 \dots 0,38 \text{ т/м}^2$. Прийmemo $p_{0 \text{ поч.}} = 3500 \text{ Па}$.

Отже прийmemo:

$$R_0 = p_{0\text{нач}} \cdot B \cdot \delta \quad (3.58)$$

$$R_0 = 3500 \cdot 2,4 \cdot 0,7 = 5880H;$$

Коефіцієнти $T_1, T_2, T_3, A_3, A_4, A_5$ визначаємо по залежності рис. 3.2, 3.3 за двома параметрами: узагальненої величиною C і наведеної кратності поліспасти n .

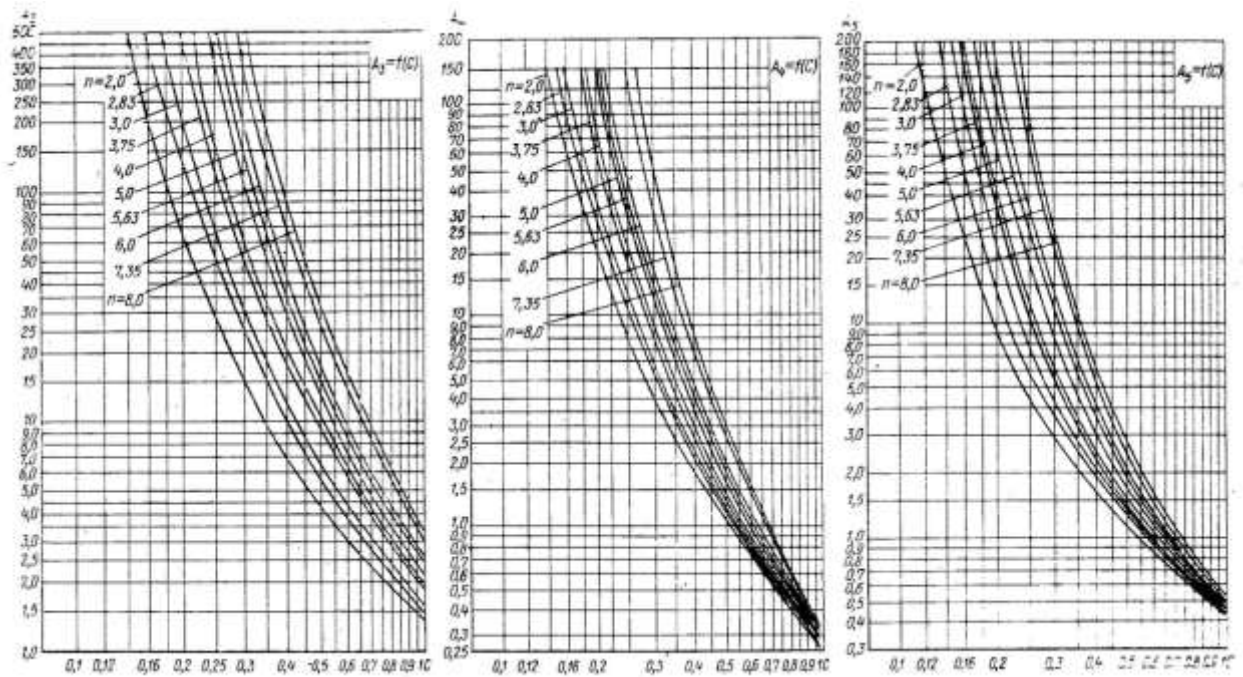


Рисунок 3.2 - Залежність коефіцієнтів A_3, A_4, A_5 від критерію C

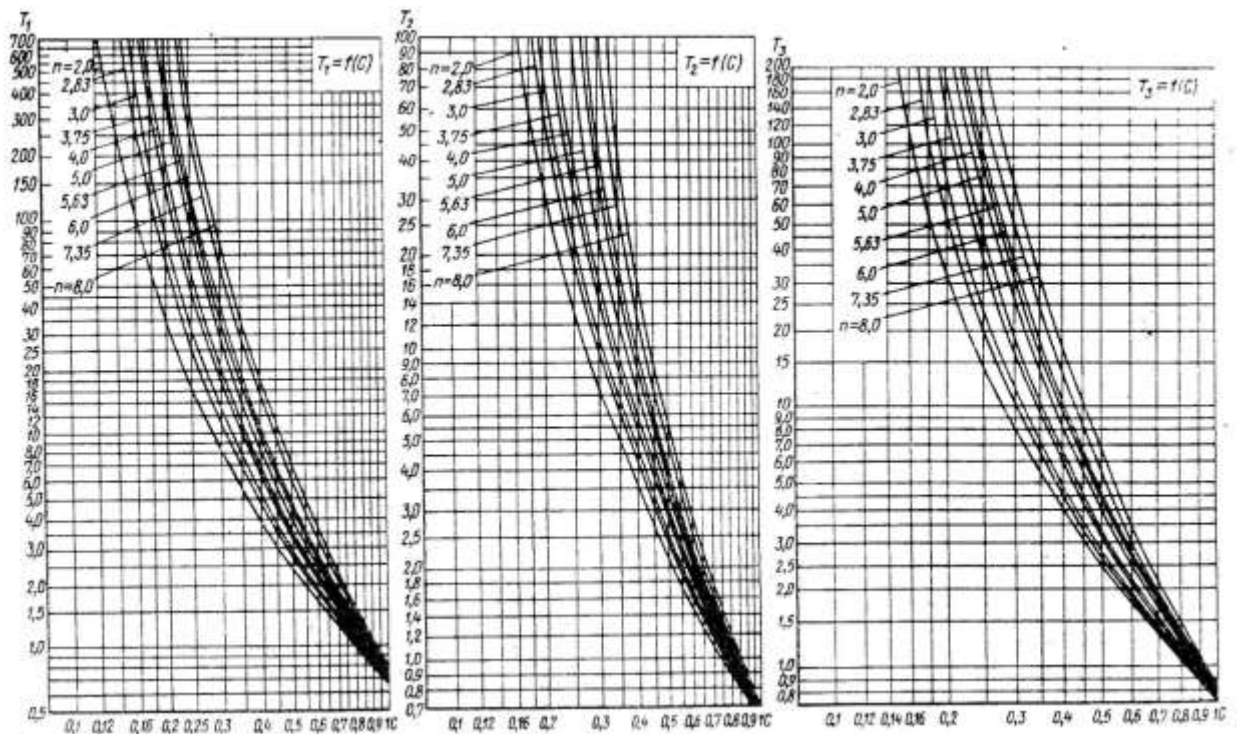


Рисунок 3.3 - Залежність коефіцієнтів T_1 , T_2 , T_3 від критерію C

Знайдемо узагальнюючу величину C :

$$C = \frac{2 \cdot \delta \cdot p_0 \cdot (1 + k_2)}{\rho_M \cdot g \cdot B \cdot \rho}; \quad (3.59)$$

де k_2 – коефіцієнт, розрахований по формулі:

$$k_2 = \frac{ctg^2 \tau \cdot tg \varphi \cdot \sin \theta}{6 \cdot \sin \alpha_{cp}} \cdot \frac{\rho_M \cdot g \cdot y_{cp}^2}{\delta \cdot p_0}; \quad (3.60)$$

$tg \varphi$ - коефіцієнт зовнішнього тертя по сталі. Для більшості цікавлять нас матеріалів (табл. 3.1), які знаходяться в діапазоні 0,5 ... 1; приймемо: $tg \varphi = 0,65$

Кут ковзання матеріалу при зачерпуванні:

$$\tau = \tau_0 - \frac{\varphi_0}{2} = 45 - \frac{35}{2} = 27.5^\circ;$$

τ_0 – кут природнього відкосу матеріалу (табл. 3.1);

φ_0 – кут внутрішнього тертя матеріалу.

$\alpha_{cp} = 55^\circ$ - середній кут щелепи;

Обчислимо коефіцієнт k_2 цікавих для нас матеріалів.

Вапняк крупний:

$$k_2 = \frac{ctg^2 27,5 \cdot 0,65 \cdot \sin 72}{6 \cdot \sin 55} \cdot \frac{1800 \cdot 9,81 \cdot 0,63^2}{0,07 \cdot 540000} = 2,04;$$

Агломерат:

$$k_2 = \frac{ctg^2 27,5 \cdot 0,65 \cdot \sin 72}{6 \cdot \sin 55} \cdot \frac{1800 \cdot 9,81 \cdot 0,63^2}{0,07 \cdot 260000} = 4;$$

Руда кускова:

$$k_2 = \frac{ctg^2 27,5 \cdot 0,65 \cdot \sin 72}{6 \cdot \sin 55} \cdot \frac{2400 \cdot 9,81 \cdot 0,63^2}{0,07 \cdot 520000} = 2,7;$$

Узагальнений коефіцієнт для наших матеріалів буде дорівнювати:

Для вапняку крупного

$$C = \frac{2 \cdot 0,07 \cdot 540000 \cdot (1 + 2)}{1800 \cdot 9,81 \cdot 2,4 \cdot 2,18} = 2,45$$

Для агломерату

$$C = \frac{2 \cdot 0,07 \cdot 270000 \cdot (1 + 4)}{1800 \cdot 9,81 \cdot 2,4 \cdot 2,18} = 2,05$$

Для руди кускової

$$C = \frac{2 \cdot 0,07 \cdot 520000 \cdot (1 + 2,7)}{2400 \cdot 9,81 \cdot 2,4 \cdot 2,18} = 2,19$$

Вага матеріалу, що підлягає зачерпуванню при розрахунковій місткості
грейфера:

Концентрат залізної руди:

$$m_M \cdot g = V_{cp} \cdot \rho_M \cdot g = 6,26 \cdot 2900 \cdot 9,81 = 178091H;$$

Агломерат залізної руди:

$$m_M \cdot g = V_{cp} \cdot \rho_M \cdot g = 6,26 \cdot 2000 \cdot 9,81 = 122821H;$$

Залізна руда рядова:

$$m_M \cdot g = V_{zp} \cdot \rho_M \cdot g = 6,26 \cdot 2600 \cdot 9,81 = 159668H;$$

Вапняк середній:

$$m_M \cdot g = V_{zp} \cdot \rho_M \cdot g = 6,26 \cdot 1500 \cdot 9,81 = 92116H;$$

Вапняк крупний:

$$m_M \cdot g = V_{zp} \cdot \rho_M \cdot g = 6,26 \cdot 1800 \cdot 9,81 = 110539H;$$

Кокс:

$$m_M \cdot g = V_{zp} \cdot \rho_M \cdot g = 6,26 \cdot 450 \cdot 9,81 = 27635H;$$

Коефіцієнт K_K :

$$K_K = \frac{2}{3} \cdot \frac{tg \varphi}{tg^2 \tau \cdot tg(\alpha_K + \varphi)} \cdot \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot tg \alpha_K \cdot V_{zp}}{B}};$$

$$K_K = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,7}{tg^2 27,5 \cdot tg(20 + 33)} \cdot \frac{1}{2,4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot tg 20 \cdot 6,26}{2,4}} = 0,75;$$

Перевіримо масу грейфера для кратності поліспада $a_n = 4, 6, 8$:

Знаходимо $T_1, T_2, T_3, A_4, A_3, A_5$ для нашого $C = 2 \dots 2,45$, по залежностям рис. 3.2, 3.3, для розглянутих кратностей поліспада. Так як на рис. 3.2, 3.3 наші значення C не використані, то знайдемо необхідні коефіцієнти по аналітичним залежностям [15]:

$$\lg T_1 = (0,322\sqrt{a_n} - 0,042)/C - (0,263\sqrt{a_n} + 0,186); \quad (3.61)$$

Для $a_n = 4$:

$$\lg T_1 = -0,411 \dots -0,466 ; \quad T_1 = 0,63 \dots 0,66;$$

Для $a_n = 6$:

$$\lg T_1 = -0,459 \dots -0,525 ; \quad T_1 = 0,59 \dots 0,63;$$

Для $a_n = 8$:

$$\lg T_1 = -0,495... - 0,575 ; \quad T_1 = 0,56...0,61;$$

$$\lg T_2 = (0,092a_n + 0,24)/C - (0,088a_n + 0,413)$$

Для $a_n = 4$:

$$\lg T_2 = -0,461... - 0,517 ; \quad T_2 = 0,60...0,63;$$

Для $a_n = 6$:

$$\lg T_2 = -0,545... - 0,618 ; \quad T_2 = 0,54...0,58;$$

Для $a_n = 8$:

$$\lg T_2 = -0,629... - 0,719 ; \quad T_2 = 0,49...0,53;$$

$$\lg T_3 = (0,281\sqrt{a_n} + 0,01)/C - (0,048\sqrt{a_n} + 0,45)$$

Для $a_n = 4$:

$$\lg T_3 = -0,260... - 0,313 ; \quad T_3 = 0,73...0,77;$$

Для $a_n = 6$:

$$\lg T_3 = -0,218... - 0,283 ; \quad T_3 = 0,75...0,80;$$

Для $a_n = 8$:

$$\lg T_3 = -0,183... - 0,257 ; \quad T_3 = 0,77...0,83;$$

$$\lg A_3 = (0,371\sqrt{a_n} - 0,121)/C - (0,089\sqrt{a_n} + 0,128)$$

Для $a_n = 4$:

$$\lg A_3 = -0,0045... - 0,052 ; \quad A_3 = 0,95...0,99;$$

Для $a_n = 6$:

$$\lg A_3 = -0,024... - 0,048 ; \quad A_3 = 0,95...0,98;$$

Для $a_n = 8$:

$$\lg A_3 = -0,001... - 0,084 ; \quad A_3 = 1,09...1;$$

$$\lg A_4 = (0,078a_n + 0,276)/C - (0,068a_n + 0,804)$$

Для $a_n = 4$:

$$\lg A_4 = -0,836... - 0,782 ; \quad A_4 = 0,46...0,43;$$

Для $a_n = 6$:

$$\lg A_4 = -0,914... - 0,840 ; \quad A_4 = 0,40...0,43;$$

Для $a_n = 8$:

$$\lg A_4 = -0,981... - 0,898 ; \quad A_4 = 0,41...0,37;$$

$$\lg A_5 = (0,283\sqrt{a_n} - 0,065)/C - (0,205\sqrt{a_n} + 0,42)$$

Для $a_n = 4$:

$$\lg A_5 = -0,626... - 0,579 ; \quad A_5 = 0,54...0,56;$$

Для $a_n = 6$:

$$\lg A_5 = -0,665... - 0,608 ; \quad A_5 = 0,51...0,54;$$

Для $a_n = 8$:

$$\lg A_5 = -0,700... - 0,632 ; \quad A_5 = 0,50...0,53;$$

Аналіз результатів розрахунку коефіцієнтів показує, що запропоновані залежності [15] досить відповідні до рекомендацій [2], крім значень коефіцієнтів A_4 , A_5 , їх приймемо орієнтовно, по рис. 3.2 [2].

Знайдемо масу грейфера для кратності поліспада 4, 6, 8. Наведена кратність поліспада при $a_n = 4$ (для $\eta_{\text{блока}} = 0,96$), $n = 3,8$ [2].

$$T_1 = 0,65; T_2 = 0,62; T_3 = 0,75;$$

$$A_3 = 1,04; A_4 = 0,25; A_5 = 0,35.$$

$$\text{Коефіцієнт } K_\phi = 1,3.$$

$$m_{\varepsilon p} = \frac{m_M \cdot \left[1 + k_\rho \cdot k_\phi \cdot \frac{\rho}{r} \cdot \text{tg}(\alpha_K + \varphi) \cdot (1 + K_K) \cdot A_5 \right] + 2R_1 A_3 + 2k_\rho k_\phi \frac{\rho}{r} R_0 A_4}{g \left\{ [a_1 + 0,5a_4 + (n-1)]T_1 + \frac{r_3}{r} a_3 T_2 + 0,5a_4 T_3 \right\}}$$

$$m_{\varepsilon p} = \frac{18154 \cdot [1 + 0,8 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot \text{tg}(20 + 33) \cdot (1 + 0,75) \cdot 0,35] + 2 \cdot 91000 \cdot 1,04 + 2 \cdot 0,8 \cdot 1,3 \cdot \frac{2,18}{1,81} \cdot 5880 \cdot 0,25}{9,81 \{ [0,25 + 0,5 \cdot 0,1 + (3,8 - 1)] \cdot 0,65 + 0,8 \cdot 0,45 \cdot 0,62 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,75 \}} =$$

$$= \frac{18154 \cdot [1 + 1,02] + 273000 + 3683}{9,81 \{ 3,3 \cdot 0,5 + 0,252 + 0,035 \}} = \frac{313354}{19} = 16492 \text{ кг}.$$

Перевіримо масу грейфера для кратності поліспада $a_n = 6$.

Наведена кратність поліспада (для $\eta_{\text{блока}} = 0,96$), $n = 5,63$ [2].

Знаходимо $T_1, T_2, T_3, A_4, A_3, A_5$:

$$T_1 = 0,61; T_2 = 0,56; T_3 = 0,77;$$

$$A_3 = 1,7; A_4 = 0,26; A_5 = 0,37.$$

$$\text{Коефіцієнт } K_\phi = 1,6.$$

$$m_{\varepsilon p} = \frac{m_M \cdot \left[1 + k_\rho \cdot k_\phi \cdot \frac{\rho}{r} \cdot \text{tg}(\alpha_K + \varphi) \cdot (1 + K_K) \cdot A_5 \right] + 2R_1 A_3 + 2k_\rho k_\phi \frac{\rho}{r} R_0 A_4}{g \left\{ [a_1 + 0,5a_4 + (n-1)]T_1 + \frac{r_3}{r} a_3 T_2 + 0,5a_4 T_3 \right\}}$$

$$m_{\varepsilon p} = \frac{18154 \cdot [1 + 0,8 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot \text{tg}(20 + 33) \cdot (1 + 0,75) \cdot 0,37] + 2 \cdot 91000 \cdot 1,7 + 2 \cdot 0,8 \cdot 1,6 \cdot \frac{2,18}{1,81} \cdot 5880 \cdot 0,26}{9,81 \{ [0,25 + 0,5 \cdot 0,1 + (5,63 - 1)] \cdot 0,61 + 0,8 \cdot 0,56 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,77 \}} =$$

$$= 12027 \text{ кг}.$$

Перевіримо масу грейфера для кратності поліспада $a_n = 8$.

Наведена кратність поліспада (для $\eta_{\text{блока}} = 0,96$), $n = 7,35$ [6].

Знаходимо $T_1, T_2, T_3, A_4, A_3, A_5$ для нашого $C = 2 \dots 2,45$, по залежностям

рис. 3.2, 3.3.

$$T_1 = 0,58; T_2 = 0,51; T_3 = 0,8;$$

$$A_3 = 1,8; A_4 = 0,27; A_5 = 0,4.$$

$$\text{Коефіцієнт } K_\phi = 2.$$

$$m_{zp} = \frac{m_M \cdot \left[1 + k_\rho \cdot k_\phi \cdot \frac{\rho}{r} \cdot \operatorname{tg}(\alpha_K + \varphi) \cdot (1 + K_K) \cdot A_5 \right] + 2R_1 A_3 + 2k_\rho k_\phi \frac{\rho}{r} R_0 A_4}{g \left\{ [a_1 + 0,5a_4 + (n-1)]T_1 + \frac{r_3}{r} a_3 T_2 + 0,5a_4 T_3 \right\}}$$

$$m_{zp} = \frac{18154 \cdot [1 + 0,8 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot \operatorname{tg}(20 + 33) \cdot (1 + 0,75) \cdot 0,4] + 2 \cdot 91000 \cdot 1,8 + 2 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot \frac{2,18}{1,81} \cdot 5880 \cdot 0,27}{9,81 \{ [0,25 + 0,5 \cdot 0,1 + (7,35 - 1)] \cdot 0,58 + 0,8 \cdot 0,45 \cdot 0,51 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,8 \}} =$$

$$= \frac{384187}{35,5} = 10822 \text{ кг}.$$

Перевіримо відповідність отриманих результатів вимогам ГОСТ 24599-87 [Додаток 1]. Маса найбільш важкого матеріалу $m_M = 18154 \text{ кг}$. При виготовленні грейфера зі сталі 09Г2С: $m_{zp.\min} = 12110 \text{ кг}$.

Вибираємо кратність поліспасту $a_n = 6$ і масу грейфера $m_{zp} = 12 \text{ т}$.
Необхідна вантажопідємність крана в даному випадку:

$$Q_{\text{крана}} = 18,2 + 12 = 30,2 \text{ т}.$$

Це відповідає характеристикам вантажопідйомності рудних перевантажувачів.

За вимогами ГОСТ 24599-87 [Додаток 1], маса грейфера для наших матеріалів не повинна перевищувати $0,4 Q_{\text{крана}}$, а це означає:

$$m_{zp.\min} \leq 0,4 \cdot 30 = 12 \text{ т}.$$

Досить задовольняє вимогам ГОСТ.

3.2 Максимізація зачерпуючої здатності грейфера і мінімізація енергоємності процесу зачерпування

На процес зачерпування канатного грейфера впливають фактори, що залежать від параметрів грейфера і умов проведення зачерпування. До перших відносяться: власна вага грейфера (і його розподілу між елементами механізму), форма щелепи, кратність поліспаста, розмах і ширина щелеп. До других: швидкість зачерпування, висота кидка грейфера.

Як вже зазначалося вище, першорядне значення має маса грейфера, так як впровадження щелеп в матеріал і їх заповнення здійснюється під дією ваги грейфера. У попередньому пункті оптимальна маса необхідного нам грейфера була знайдена аналітично, ґрунтуючись на [2, 15]. Проведений розрахунок ґрунтувався на фізичній сутності процесу зачерпування. Надмірна кількість використовуваних в [2, 15] коефіцієнтів і наближень дозволяє зробити висновок про складність і малу вивченість питань зачерпування матеріалу впроваджуючим контуром. Особливо для неоднорідних і крупношматкових матеріалів. Науковий аналіз даного питання утруднений також неоднозначністю властивостей самих зачерпуючих матеріалів.

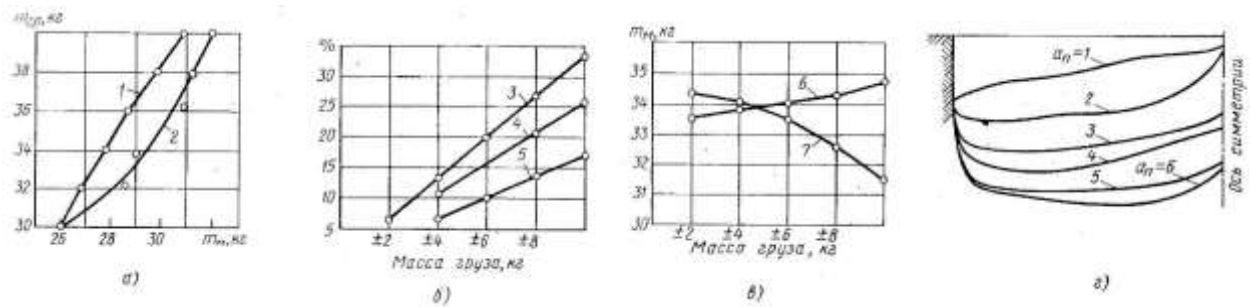


Рисунок 3.4 - Вплив маси грейфера на зачерпуючу здатність (а - вплив збільшення маси траверси (1) і головки (2) на зачерпуючу здатність; б - вплив маси грейфера (%) на зачерпуючу здатність (3 - зміна маси грейфера, зміна маси зачерпуючого матеріалу при обваженні головки (4), траверси (5)); в - вплив збільшення маси головки + зменшення маси траверси (6) і вплив зменшення маси головки + збільшення маси траверси (7) на зачерпуючу здатність); г - криві зачерпивання в залежності від кратності поліспасти)

Дослідним шляхом встановлено, що найдоцільніше збільшувати масу головки грейфера або щелеп. Зростання маси траверси значно (в 1,5 ... 2) рази менше впливає на зачерпуючу здатність. Ускладнення траверси призводить до підвищення енерговитрат, але її маса повинна забезпечувати розмах щелеп порожнього грейфера (рис. 3.4). Скористаємося рекомендаціями [2] і виберемо найбільш оптимальну масу:

$$m_{mp} = (0,16...0,18) \cdot m_{zp};$$

$$m_{mp} = (0,16...0,18) \cdot 12000 = 1920...2160 \text{ кг};$$

При створенні твердотільної збірки в CAD середовищі SolidWorks цей параметр необхідно буде проконтролювати.

Відзначимо також, що для нашого грейфера вибираємо підшипники ковзання в блоках поліспасти.

В більшості проведених дослідів було встановлено, що зі збільшенням кратності поліспада впровадження ножа щелепи в матеріал набуває більш інтенсивний характер (рис. 3.4 г).

Форма щелепи є дуже вагомою характеристикою грейфера, так як вона визначає конструкцію інших вузлів, технологію їх виготовлення, метод складання. Форма щелепи грейфера повинна забезпечити: найбільше заповнення, найменший опір при зачерпуванні, найкращу розвантаженість при розкритті щелеп, найменшу деградацію тендітних матеріалів в ковші, найменше динамічне навантаження на замикаючий механізм.

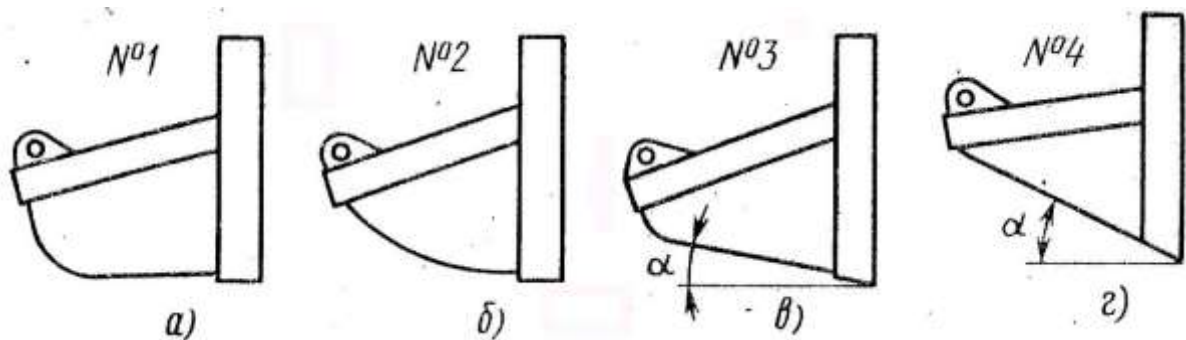


Рисунок 3.5 - Форми щелеп грейфера (№1 - з плоским днищем, №2 - з напівкруглим днищем, №3 - з кутом підйому днища до 8° , №4 - з кутом підйому днища до 30°)

Існують чотири основних форми днища щелепи грейфера (рис. 3.5 а, б, в, г). Кожна форма краще підходить для свого типу перевантажуваних матеріалів. На сьогодні не існує аналітичних залежностей, що описують оптимальну форму щелепи. Профіль днища повинен бути таким, щоб в процесі зачерпування, днище не торкалося дна виїмки (тобто не перетинало криву зачерпування). Напівкругла форма днища (рис. 3.5 б) є ідеальною для дрібного сипучого матеріалу. Для крупнокусового матеріалу краще використовувати плоске днище. По більшості експериментальних досліджень рекомендується приймати кут α (рис. 3.5 - в) задньої стінки мінімальним, але

не рівним нулю (умова не перетиння кривої зачерпування). Прийнятий в нашому розрахунку (п. 3.1) $\alpha = 12^\circ$ є прийнятним.

Проектований нами грейфер буде експлуатуватися для матеріалів різних розмірів шматків (табл. 1.2). При цьому насипна щільність більшості матеріалів достатньо близька. Для спрощення виготовлення ковшів і забезпечення максимально повного їх заповнення мілкошматкованими матеріалами запропонуємо альтернативну форму днища (рис. 3.6, 3.7). Днище буде складатися з 3-х невальцьованих пластин, розташованих під невеликим кутом одна від одної. Дана конструкція днища вже зустрічалася в розглянутих в даній роботі грейферах (рис. 1.8). Така форма забезпечить підвищення ємності ковша і запобіжить перетин кривої зачерпування; спроститися виготовлення ковша (немає необхідності вальцювати товстий лист сталі). Обрана нами форма щелепи не суперечить рекомендаціям [2].

Як було зазначено раніше (п. 3.1) для інтенсифікації роботи ковша з крупнокусковими матеріалами рекомендується встановлювати зуби в кількості 7 шт.

Збільшення ширини розкриття щелеп призводить збільшення маси зачерпуючого матеріалу. Але процес зачерпивання при великому розкритті відрізняється від процесу при малих. При великих розкриттях щелеп працездатність стає недостатньою, процес надмірно енергоємок.

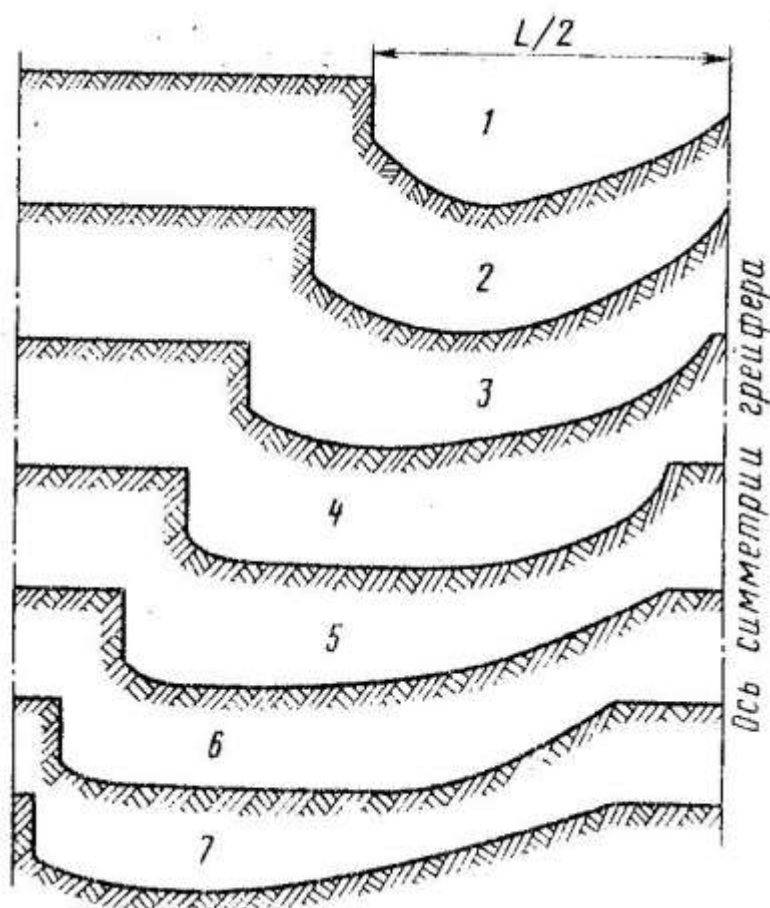


Рисунок 3.6 - Вплив розкриття L щелеп на зачерпуючу здатність

На рисунку 3.6 представлені результати експерименту по розширенню розкриття щелеп (представлені криві виїмок). У таблиці 3.2 вказані значення маси матеріалу в залежності від розкриття.

Таблиця 3.2 - Вплив розкриття щелеп на зачерпуючу здатність

Розкриття щелеп	1	1,17	1,35	1,5	1,7	1,9	2,0
Маса матеріалу	1	1,06	1,14	1,22	1,16	1,14	1,06

Як ми бачимо, збільшення розмаху щелеп не так ефективно, як це бачиться на перший погляд. Зупинимося на рекомендаціях [2] для значень

ширини і розмаху щелеп для матеріалів близьких до наших за насипною щільністю і розміром шматків.

$$\psi = B / L = 0,55;$$

$$B = 2,4 \text{ м}$$

$$L = 4,4 \text{ м.}$$

3.3 Створення тривимірної складальної моделі грейфера

В рамках магістерської роботи був спроектований грейфер ємністю 6,3 м³, для використання на рудних дворах підприємств чорної і кольорової металургії. Грейфер розроблений в середовищі «*Solid Works 12*», у вигляді багаторівневої збірки. Кількість твердотільних елементів моделі (деталей) = 177, без урахування повторюваних. Модельне параметричне виконання даного грейфера дозволять досить швидко змінювати його характеристики, при необхідності внесення змін у конструкцію. На сьогодні, такий підхід до конструкторської діяльності є найбільш передовим і перспективним.

На рисунку 3.7 змодельовано внутрішній обсяг грейфера, для визначення геометричної місткості.

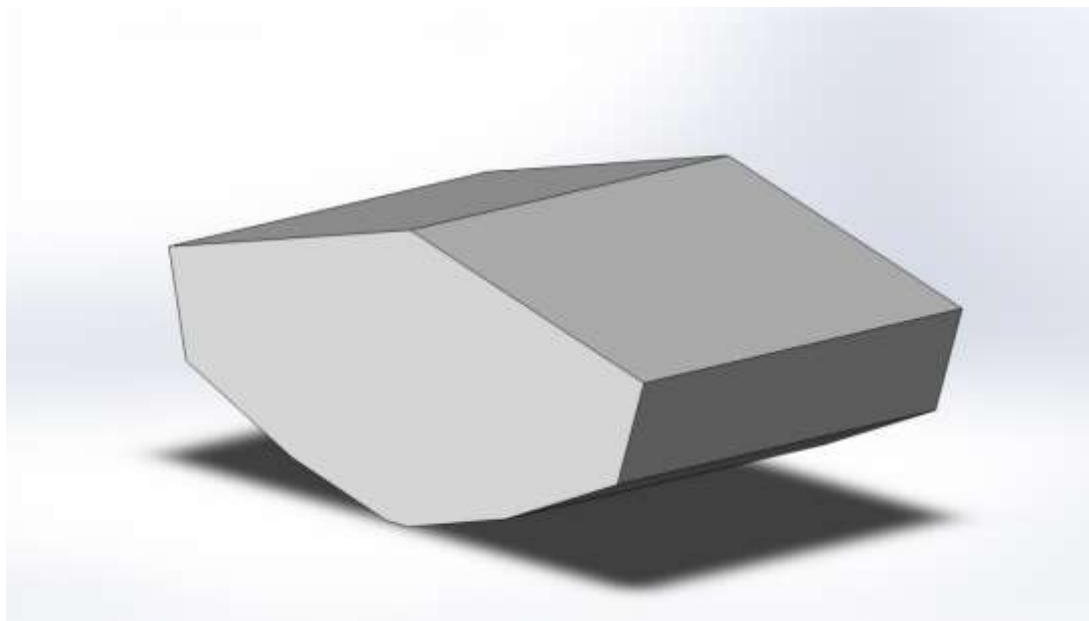


Рисунок 3.7 - Моделювання внутрішнього обсягу грейфера

На рисунках 3.8, 3.9 представлені види даної моделі з рознесеними частинами і в зборі відповідно.

З даної моделі були створені всі необхідні складальні і деталювальні креслення для виробництва грейфера.

Створена рознесена модель і анімований ролик процесу складання даного грейфера при його виготовленні. Тривимірна візуалізація процесу складання моделі грейфера є оптимальним рішенням для спрощення проведення складальних робіт в цеху підприємства.

В рамках роботи була створена візуалізація процесу зачерпування матеріалу по наперед заданій кривій зачерпування. Стадії руху грейфера зображені на рис. 3.13.

Грейфер був виготовлений на заводі «Запоріжкран» та введений в експлуатацію в 2012 р

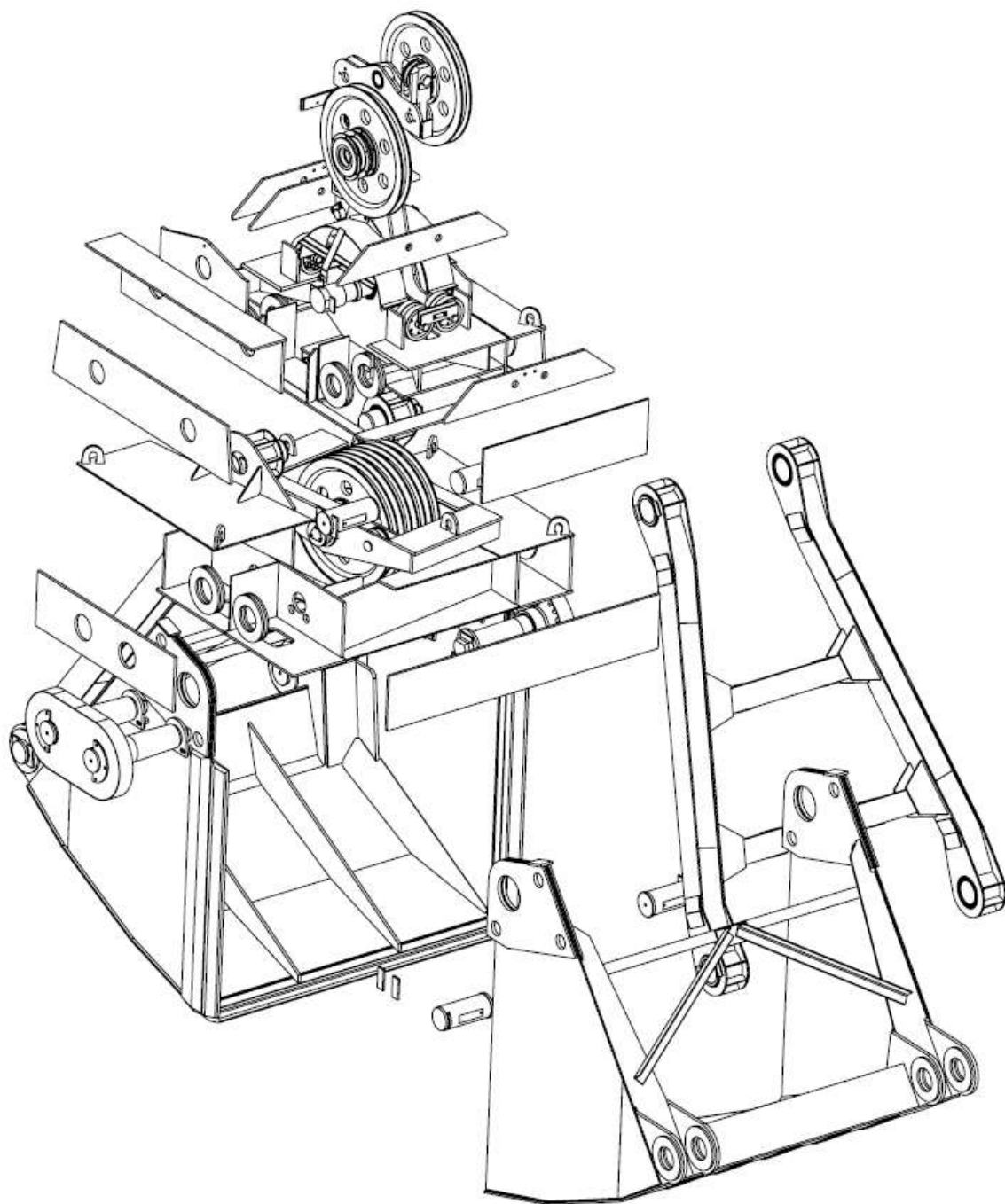


Рисунок 3.8 – Модель грейфера з рознесеними частинами

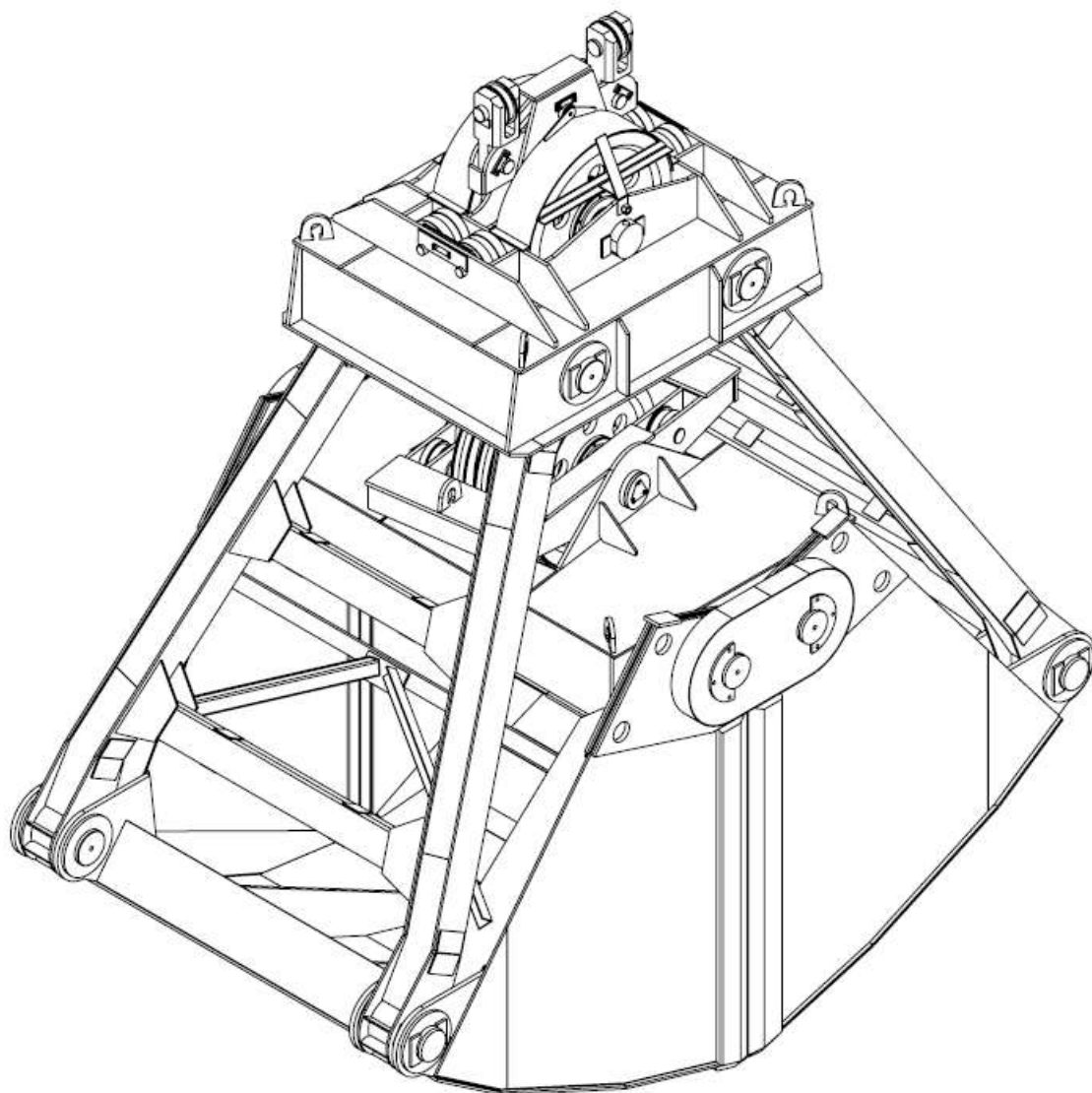


Рисунок 3.9 – Грейфер-збірка

3.4 Характеристики міцності елементів канатного грейфера

Для силового розрахунку потрібно знати навантаження на щелепи грейфера від їх взаємодії з сипучим середовищем. Процеси, що відбуваються в сипучому середовищі при зачерпуванні, є істотно нелінійними. Математична модель пластичної течії сипучого середовища розроблена досить докладно: сипуче середовище поводить себе як ідеально пластичне середовище з межею плинності, що залежить від середнього гідростатичного напруження. Однак до сих пір вирішено досить обмежене число завдань, пов'язаних з взаємодією індентора з сипучим середовищем.

Для того щоб розрахувати на міцність який-небудь елемент грейфера (щелепу, тягу), необхідно:

1. Виконати силовий розрахунок грейферного механізму, в результаті чого, виходячи з зусиль зачерпування, будуть визначені реакції у всіх кінематичних парах.

2. Розглянути елемент грейфера окремо від усіх інших ланок під дією зовнішніх сил і певних на попередньому кроці реакцій, щоб в подальшому визначити напружений стан елемента, що розглядається. Тут при використанні методу скінченних елементів, елемент грейфера (щелепа) доведеться закріпити геометрично незмінним чином для того, щоб його матриця жорсткості була неособливою [16].

Для розрахунку напруженого і деформованого стану несучих структур грейфера: щелеп, тяг і траверс - на основі методу скінченних елементів, був використаний 4-вузловий тетраедральний кінцевий елемент з лінійними функціями форм. Це дозволило виконати розрахунок елементів грейфера на міцність.

За створеним в програмному комплексі «*Solid Works 12*» об'ємним геометричним моделям навантажених структур грейфера (щелеп, тяг і траверс) були побудовані їх кінцевоелементні моделі за допомогою вбудованої в «*Solid Works*» САЕ-програми «*Cosmos Works*». До кінцевоелементних моделей навантажених структур грейфера було докладено навантаження.

Для забезпечення коректності результатів аналізу були також змодельовані зварні з'єднання елементів металоконструкції грейфера (рис. 3.10).

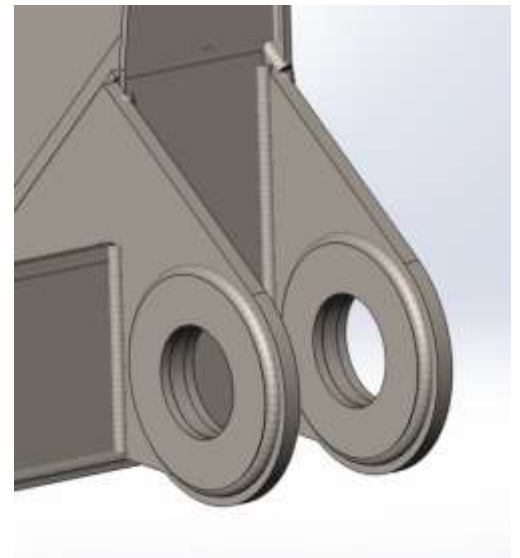
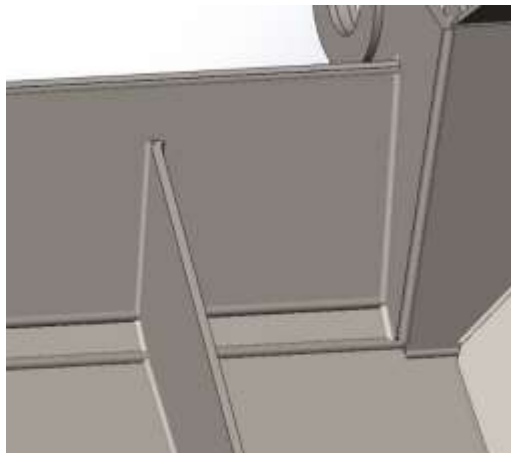


Рисунок 3.10 - Моделювання зварних з'єднань в середовищі SolidWorks

Сама кінцевоелементна модель щелепи складається з 32128 кінцевих елементів і 65050 вузлів. Після рішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь програмою були визначені всі параметри напруженого і деформованого стану несучих структур грейфера.

Було встановлено, найбільші напруги щелепи, що виникають уздовж ріжучої кромки, близько кута щелепи:

$$\sigma_{ekv_2}^{расч} = 102 \text{ МПа} .$$

В інших зонах виникають значно менші максимальні напруги:

$$\sigma_{ekv_1}^{расч} = 40,7 \text{ МПа} , \sigma_{ekv_3}^{расч} = 88 \text{ МПа} , \sigma_{ekv_4}^{расч} = 36 \text{ МПа} .$$

Отримані значення напруг дозволяють стверджувати, що конструкція щелепи досить задовольняє вимогам статичної міцності.

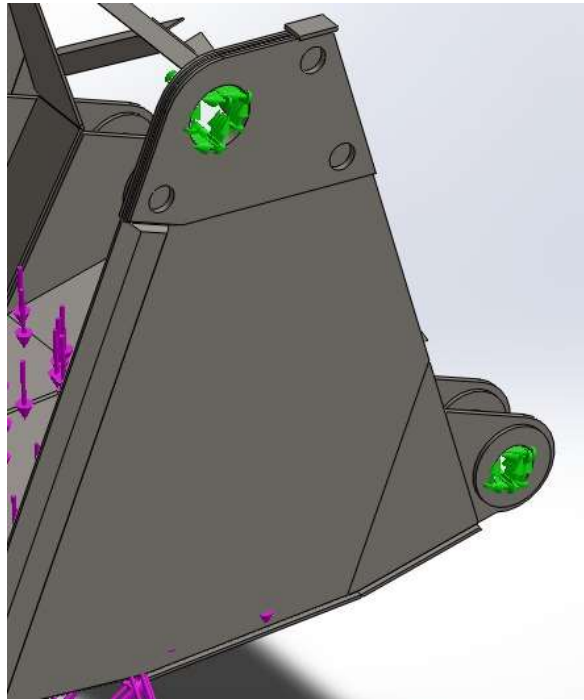


Рисунок 3.11 – Закріплення щелепи

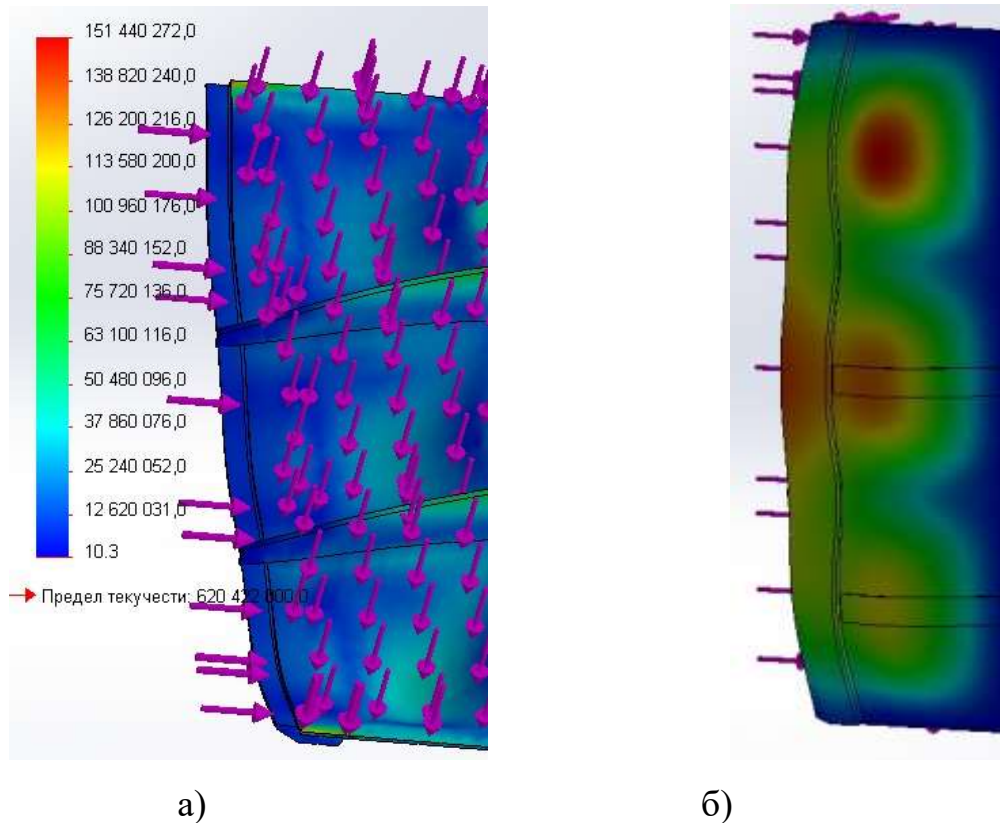


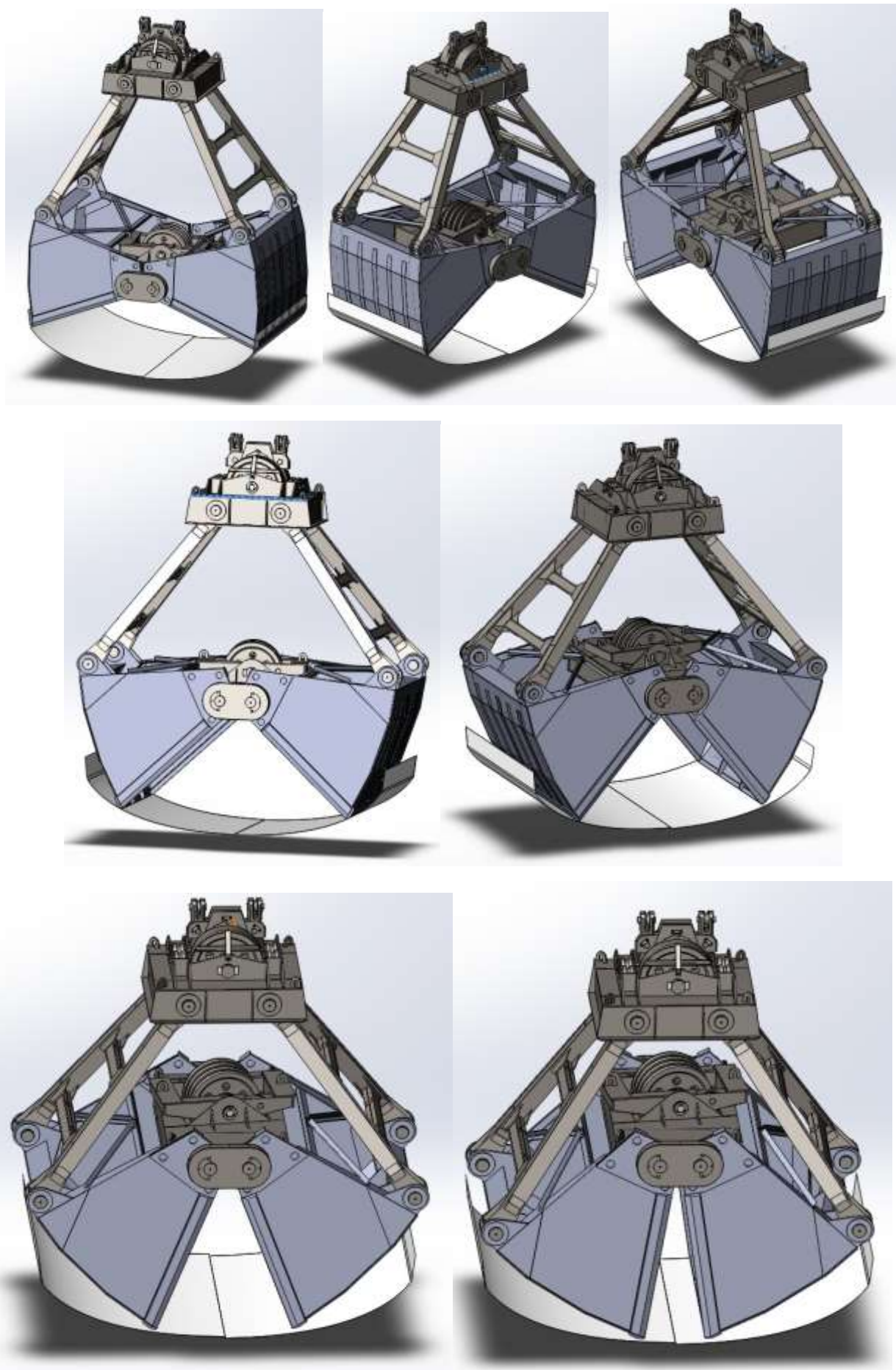
Рисунок 3.12 – а) Напруження на ріжучу кромку;
б) Деформація на ріжучу кромку

Для зменшення деформацій днища було рекомендовано використання смуг (ребер) жорсткості. На рис. 3.12б видно ефект від їх використання.

3.5 Анімація процесу роботи грейфера

Для використання в навчальному процесі, в рамках даного дипломного проекту були створені тривимірні анімації, що моделюють основні етапи роботи грейферного обладнання.

На рисунку 3.13 представлені кілька стадій руху віртуальної моделі грейфера по кривій зачерпування.



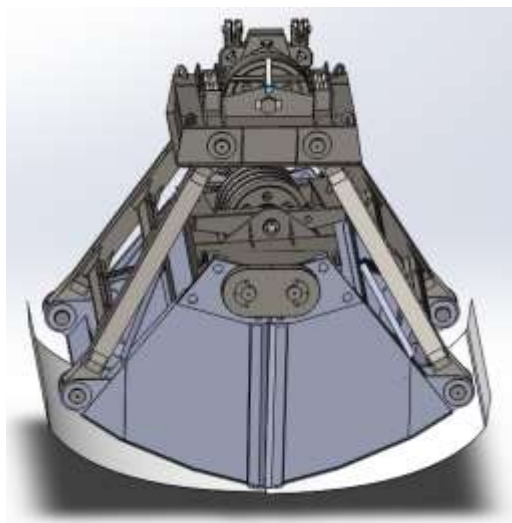
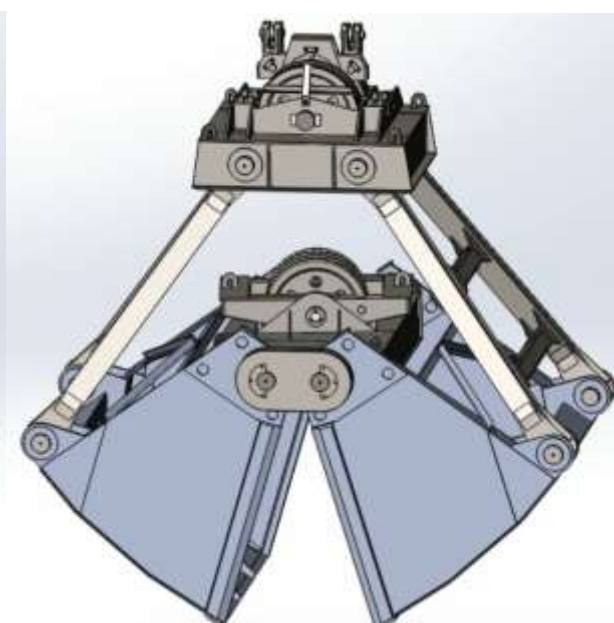
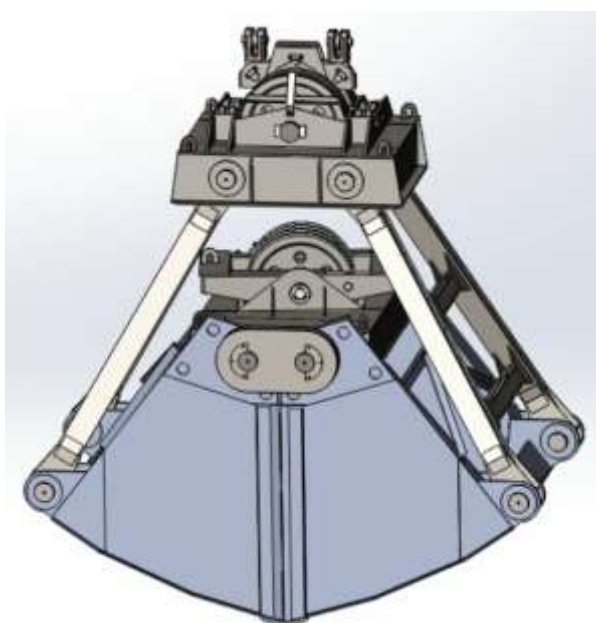


Рисунок 3.13 - Стадії процесу зачерпування по кривій зачерпування



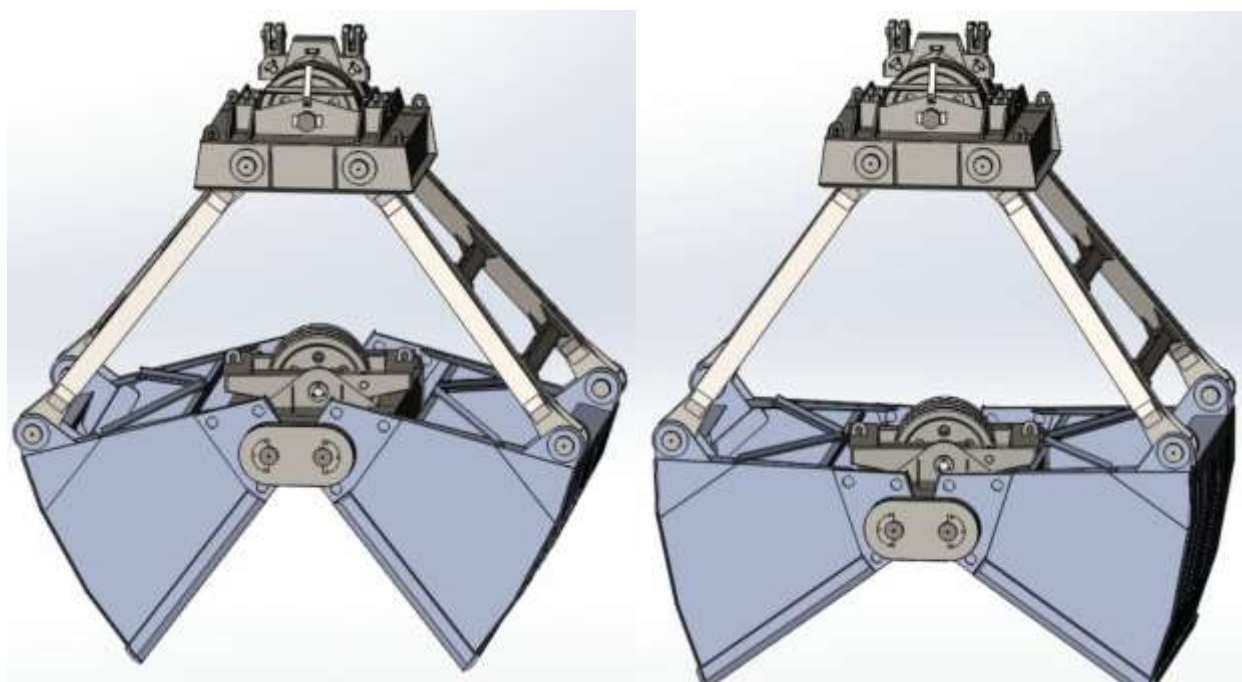


Рисунок 3.14 – Стадії розкриття грейфера

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даному розділі наданні основні заходи з охорони прані при модернізації рудно-грейферного перевантажувача в рудному дворі доменного цеху.

4.1 Аналіз потенційних небезпек.

- незадовільна організація робочого місця конструктора внаслідок невиконання вимог ергономіки, що може призвести до зниження працездатності.
- небезпеки що пов'язані з недоліками конструктивних рішень в проектах модернізації, що можуть призвести до аварійних ситуацій.
- небезпеки що пов'язані з хибним виконанням розрахунків механізмів з метою запобігання аварійних ситуацій.
- можливість механічного травмування при виконанні службових обов'язків на виробничому майданчику.
- можливість ураження електричним струмом, що можуть бути пов'язані з порушенням правил з електробезпеки на робочому місці.
- можливість виникнення аварійних ситуацій в наслідок порушення правил допуску до роботи ПТМ .
- небезпеки що пов'язані з знаходженням в зоні роботи крану при впровадженні проектних робіт.
- недостатнє освітлення робочих місць пов'язаних з несправністю приладів освітлення.
- незадовільні параметри мікроклімату в адміністративних приміщеннях внаслідок неефективної роботі систем опалення та кондиціонування.
- негативний вплив підвищеної запиленості в місцях експлуатації грейферного перевантажувача.

- можливість загоряння в наслідок порушення правил пожежної безпеки.
- небезпеки пов'язані з умовами роботи в надзвичайних ситуаціях.

4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Організація робочого місця конструктора повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономичные требования».

Організація робочого місця, розташування устаткування, забезпечує зручну позу, близьку до оптимальної при мінімальному статичному навантаженні при виконанні проектних робіт. Кути відхилення тіла щодо нормального фізіологічного положення при виконанні технологічних операцій, мінімальні.

Для запобігання аварійних ситуацій, пов'язаних з недоліками конструктивних рішень при проектуванні, рекомендовано:

а) модернізацію вантажопідіймального крану можуть виконувати суб'єкти господарювання, які мають дозвіл спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з промислової безпеки та охорони праці на виконання реконструкції або ремонту.

б) модернізація та ремонт виконуються за технічною документацією, розробленою відповідно до вимог НД. До складу документації мають входити технічні умови.

в) Після реконструкції та модернізації вантажопідіймального крана чи машини проводяться приймальні випробування відповідно до вимог технічних умов на реконструкцію, модернізацію.

г) при реалізації конструктивних рішень повинна закладатися висока надійність механізмів (механізми підйому, пересування, гальма).

З метою запобігання аварійних ситуацій всі розрахунки неодноразово перевіряються та вводяться до проекту після дозволу всіх відповідальних осіб.

При знаходженні на виробничій ділянці необхідно виконувати правила з охорони праці. Обов'язково використовувати засоби індивідуального захисту.

Для виключення ураження електричним струмом всі електричні устаткування заземлюються згідно ПЕУ-2013.

Проводити навчання з правил електробезпеки, перевірку знань та атестацію персоналу з електробезпеки, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Допуск до роботи працівників, які пройшли навчання та перевірку знань з охорони праці (у тому числі з електробезпеки).

Запобігання виникнення аварійних ситуацій в наслідок незадовільного стану вантажопідійомних пристроїв на рудному дворі передбачається виконання вимог НПАОП 0.00-1.01-07 «Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів»

Електрообладнання вантажопідіймальних кранів і машин, його монтаж, струмовідводи, освітлення, заземлення та інші заходи безпеки мають відповідати вимогам цих Правил, „Правил устройства электроустановок (6-е издание, переработанное и дополненное). Энергоатомиздат, 1987 г.” (зі змінами), ПБЕЕСУ, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів, затверджених наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 25.10.2006 за № 1143/13017, та чинним НД.

Забезпечити контроль за вантажопідійомними кранів та механізмами згідно з

НПАОП 0.00-1.01-07 «Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів» . Перед роботою з вантажопідійомними механізмами необхідно перевіряти дату випробування вантажопідійомника (термін придатності - один рік).

Механізми вантажопідіймальних кранів і машин, обладнані кулачковими, фрикційними або іншими механічними пристроями для вмикання або перемикавання швидкостей робочих рухів, мають виконуватися таким чином, щоб довільне вмикання або роз'єднання механізму було унеможливлене.

У з'єднаннях елементів вантажопідіймальних кранів і машин (болтових, шпонкових, шліцьових тощо) має бути унеможливлене їх довільне розгвинчування або роз'єднування.

Механізми підймання вантажу і зміни вильоту вантажопідіймальних кранів і машин з машинним приводом обладнуються гальмами нормально закритого типу, що автоматично розмикаються під час увімкнення приводу.

Конструкція грейфера має унеможливлювати довільне розкриття, а конструкція канатного грейфера, крім того, – вихід канатів з рівчаків блоків.

Грейфер споряджається табличкою із зазначенням найменування або товарного знаку виробника, порядкового номера за системою нумерації виробника, власної маси грейфера, умовного позначення грейфера. Табличка канатного грейфера для навалювальних вантажів має відповідати вимогам НД. У разі пошкодження таблички виробника остання має бути відновлена суб'єктом господарювання.

Грейфери, виготовлені для самостійного постачання, споряджаються, крім таблички, паспортом і настановою з експлуатації.

Не допускається знаходження людей під грейфером, що піднімається або опускається, оскільки при раптовій несправності вантажопідіймального механізму вантаж може стрімко опуститися і травмувати людину, що знаходиться в зоні роботи грейфера.

Обов'язково використовувати засоби індивідуального захисту: спеціальний одяг, спеціальне взуття, каски, окуляри.

Увідний пристрій вантажопідіймального крана чи машини, розташований поза кабіною або у відкритій кабіні керування, має замикатися на замок у вимкненому стані й мати показчик ВИМКНЕНО, УВИМКНЕНО

Перевантажувач має бути обладнаний обмежувачами робочих рухів (кінцевими вимикачами) для автоматичної зупинки. У грейферних кранів з роздільним електричним приводом механізмів підймання та замикання грейфера обмежувач має вимикати одночасно двигуни обох механізмів у разі досягнення грейфером крайнього верхнього положення.

Грейфер, що працюють просто неба або в незахищеному від вітру місці, протиугінними пристроями можуть не обладнуватися, якщо під дією на кран вітру неробочого стану, допустима швидкість якого зазначена в паспорті крана, запас гальмування механізмів пересування становить не менше 1,2.

Для вантажопідіймальних кранів, коли застосування протиугінних рейкових захоплювачів неможливе через конструктивні особливості кранової колії, суб'єктом господарювання мають бути вжиті інші заходи щодо унеможливлення угону вантажопідіймальних кранів вітром.

Рудно-грейферний перевантажувач обладнується обмежувачами вантажопідіймальності (для кожної вантажної лебідки), якщо можливе їх перевантаження за технологією виробництва.

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.

Допустимі норми температури, вологості та швидкості руху повітря на робочому місті описані в табл. 6.1

Таблиця 4.1 – Метеорологічні умови в адміністративних приміщеннях.

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °C	Відносна вологість	Швидкість повітря, м/с
Холодний період	Легка	22 – 24	60 - 40	0,1
Теплий період		23 - 25	60 - 40	0,1

Для забезпечення оптимального рівня параметрів повітряного середовища виробничого середовища зазначених у ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» в проекті передбачено: устрій системи водяного опалення приміщення для забезпечення необхідної температури повітря в холодний період року відповідно СНиП 2.04.05-91*У «Отопление, вентиляция и кондиционирование». В теплий період використовувати кондиціонер.

Розрахунок необхідного повітрообміну в залежності від кількості працівників у приміщенні

$$L_1 = l \cdot n = 30 \cdot 5 = 150, \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.1)$$

де l – мінімальна подача повітря на одного працівника відповідно до санітарних норм (при вільному об'ємі приміщення, що припадає на одного, до 20 м^3 – $l=30\text{ м}^3/\text{год}$, при вільному об'ємі приміщення більше 40 м^3 на одного працівника допускається неорганізована природна вентиляція);

n – кількість працівників у приміщенні.

В приміщеннях, де немає викидів шкідливих речовин у великій кількості, для забезпечення необхідного повітрообміну в теплий період року, передбачено устрій кондиціювання Ballu BSWI-09HN1 відповідно ГОСТ 30646-99 «Кондиционеры центральные общего назначения. Общие технические условия.»

Для забезпечення нормованого застосовуються як джерело освітлення люмінесцентні лампи, які встановленні у світильники, щоб уникнути стробоскопічного ефекту, підключені на різні фази електромережі.

Надано розрахунок рівня освітлення, включаючи охорону праці за наступними даними:

Сумарний світловий потік освітлювальної установки у адміністративному приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta}; \quad (4.2)$$

де $E = 300$ лк визначається по розряду і підрозряду робіт табл..1 СНиП II-4-79 «Естественное и искусственное освещение»;

$K_z = 1,3$ – згідно з табл..3 СНиП II-4-79;

$S = A \cdot B$ – площа цеху, m^2 ;

$Z = 1,5$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$\eta = 0,63$ - коефіцієнт використання світлового потоку світильників.

$A=5$ м, $B=9$ м;

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{300 \cdot 45 \cdot 1,3 \cdot 1,5}{0,63} = 41785 \text{ лм};$$

Обираємо світильник з люмінесцентними лампами ЛБ-40, які мають світловий потік $\Phi=3200$ лм., Кількість світильників 13 шт.

Розроблені заходи щодо охорони праці відповідають вимогам ГОСТ, СНиП і вимогам методичних вказівок.

Норми освітлюваності робочих місць показані в табл. 4.3.

Таблица 4.3 - Нормы освещенности рабочих мест СНиП II-4-79 «Естественное и искусственное освещение»

Характеристика работы	Розміри об'єкту розрізнення, мм	Розряд зорових робіт	Освітлення комбіноване	Освітлення загальне
Средняя	0,5 – 1,0	4	750	300

Зміст шкідливих речовин в повітрі рудного двору не перевищує гранично допустиму концентрацію, вказану по ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони в промисловому приміщенні представлені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони в промисловому приміщенні

Назва речовини	Фактична концентрація	ПДК	Клас небезпеки
Пил сталі	6	6	4
Пил абразиву	6	6	4

У доменному цеху передбачено використання індивідуальних засобів захисту органів дихання за ДСТУ EN 140:2004 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Півмаски і чвертьмаски».

4.4 Заходи з пожежної безпеки.

Пожежа представляє небезпеку і заподіює значний матеріальний збиток.

Основи протипожежного захисту підприємств визначені ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

Адміністративні приміщення відноситься до категорії В згідно СНіП 2.09.02-85 «Нормы проектирования. Производственные здания промышленных предприятий» і розміщується в будівлі, що не згорає, 2 ступені вогнестійкості. На випадок виникнення пожежі згідно СНіП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» в цеху забезпечена можливість безпечної евакуації людей через евакуаційні виходи. Відстань від найбільш видаленого робочого місця до евакуаційного виходу не перевищує 75 м.

Елементи дробин, що розташовуються в сходових клітках, передбачені такими, що не згорають, з межами вогнестійкості не менше 1,5 години. Ширина сходових маршів складає 2,2 м, ширина коридорів менше 2 м, ширина дверей 1 м, висота дверей і проходів 2,0 м. Двері, призначені для евакуації, відкриваються в сторони виходу з будівлі.

Із засобів пожежогасіння в адміністративних приміщеннях використовуються:

- вуглекислотні вогнегасники ВВК-5

6.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Інженерно-технічні заходи по підвищенню стійкості систем електро-, водо-, газозабезпечення у надзвичайних ситуаціях.»

Система електропостачання є визначною на промисловому підприємстві. Підвищення стійкості цієї системи досягається проведенням як загальноміських, так і об'єктивних інженерно-технічних заходів.

При живленні підприємства від районної енергосистеми лінії електропередач підводяться з двох напрямків. На випадок виходу одного зі строю передбачено автономне (аварійне) джерело, в якості якого використовуються рухомі електростанції. Потужність такої станції розрахована на обмежену групу споживачів електроенергії. Перехід на живлення від аварійних електростанцій здійснюється автоматично без припинення подачі енергії споживачам. Електроенергія на промислове підприємство передається по підземним електролініям.

Для передбачення виходу зі строю електричних мереж встановлені засоби автоматичного відмикання їх при виникненні перенапруг, які можуть бути створені електромагнітними полями, що з'являються при ядерному вибуху.

Стійкість газопостачання підвищена проведенням як загальноміських інженерно-технічних заходів, так і на об'єктах.

При ушкодженні джерел газопостачання чи газопроводів на великому підприємстві існують підземні ємності – газгольдери постійного об'єму.

Газові мережі проведені під землею та підведені до об'єкта з двох напрямків. Паралельні газопроводи з'єднані між собою, а вся система газопостачання закільцьована, що дозволяє відмикати пошкоджені ділянки та використовувати збережені лінії.

Для передбачення виникнення вторинних пошкоджуючих факторів газові мережі обладнані засобами для автоматичного відмикання ділянок газопроводів.

На газопроводах встановлена замочна арматура з дистанційним керуванням і крани, автоматично перемикаючи потік газу при розриві труби.

Виключно важливе значення має стійка система водопостачання.

Промисловий об'єкт постачається водою від двох джерел – основних та резервних. Один із джерел – підземний. Це джерело найбільш надійне, оскільки менше схильне до можливого руйнування від ударної хвилі і зараження радіоактивними та отруйними речовинами, бактеріологічними засобами. В якості підземного джерела використана артезіанська свердловина. Вона знаходиться в резерві до виходу зі строю основного джерела водопостачання – міського водопроводу. Резервним джерелом є близько розміщене водоймище, від якого проведений водопровід з водозабірними та очищуючими спорудами, а також автономним джерелом енергії, яким служить двигун внутрішнього згоряння. Крім того, на промисловому об'єкті споруджені та завчасно заповнені резервуари з водою.

Артезіанські свердловини, резервуари із запасом чистої води та шахтні колодязі пристосовані для роздачі води в рухому тару та захищені від радіоактивного, хімічного та бактеріологічного зараження.

Мережі водопостачання проведені в землі та споруджені засувками для відмикання окремих ділянок при аварії. Пожежні гідранти та відмикаючи пристрої розміщені на території, яка не може бути завалена при руйнуванні будівель та споруд. При виборі схеми водопостачання врахована можливість повторного використання води. Це зменшує загальну потребу підприємства у воді, а отже, в якій-то мірі підвищує стійкість роботи промислового підприємства.

При будівництві нових мереж водопостачання збережені всі існуючі водопроводи та головні споруди в якості резервних. При цьому забезпечено

використання нових водопроводів не тільки для господарчих та виробничих потреб, але і для гасіння пожеж.

Інженерно-технічні заходи по підвищенню стійкості систем електро-, водо-, газозабезпечення необхідні для стійкої роботи підприємства у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

В магістерської роботі проведено комплексне дослідження роботи канатних грейферів на металургійних підприємствах. В результаті чого був розрахований і спроектований оптимальний металургійний грейфер для рудних перевантажувачів вантажопідйомністю яких становить 32 т. Маса грейфера склала 12 т.

Аналіз використовуваних на рудних дворах заводів України рудних грейферів показав, що всі грейфери об'ємом 5 ... 7м³ мають невиправдано завищену масу і не відповідають вимогам ГОСТ 24599-87 «Грейфери канатні для навалочних вантажів. Загальні технічні умови », що підтверджує актуальність питань оптимізації грейферних конструкцій. Було встановлено, що за більшістю критеріїв найбільш оптимальною є звичайна (довголанкова) конструкція канатного грейфера для навалювальних вантажів, яка і була взята за аналог.

В роботі була складена математична модель, що детально описує кінематичні і динамічні характеристики елементів грейфера в процесі зачерпування. Метод невизначених множників дозволив врахувати обмеження (рівняння зв'язку) грейферного механізму і привів до матричної форми рівнянь, що дозволяє автоматизувати силовий розрахунок грейферного механізму в усіх фазах зачерпування.

В результаті аналізу загальноприйнятих методик розрахунку, розгляду існуючих конструкцій грейферів і обліку особливостей роботи канатних грейферів на рудних дворах підприємств чорної і кольорової металургії був спроектований оптимальний рудний грейфер ємністю 6,26м³. При конструюванні був застосований передовий метод тривимірного твердотілого моделювання в програмному комплексі *SolidWorks*. За створеної складальної моделі був випущений комплекс документації для виробництва. Грейфер був виготовлений на підприємстві «Запоріжкран» і введений в експлуатацію на Криворізькому гірничо-збагачувальному

комбінаті в 2012р. Модель також була схильна до кінцево-елементного аналізу для оптимізації міцності основних елементів грейфера.

Була створена модель процесу зачерпування і спорожнення грейфера за допомогою засобів моделювання *SolidWorks*.

У розділі, присвяченому охороні праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях був проведений аналіз потенційних небезпек, що виникають при роботі грейферних перевантажувачів, були запропоновані заходи щодо забезпечення безпеки, виробничої санітарії і гігієни праці на рудних дворах металургійних підприємств.

Результати даної роботи можуть також бути використані в навчальному процесі кафедри «ДМ і ПТМ» ЗНТУ для вивчення курсів «САПР підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних машин і обладнання», «Вантажопідйомні машини» і «Спеціальні крани».

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Александров М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов/ М.П.Александров.- М.: Высшая школа, 2000. - 552 с.
2. Таубер Б.А. Грейферные механизмы / Б.А.Таубер.- М.: Машгиз,1985.- 270с.
3. Зенков Р.Л. Методика расчета грейферов / Р.Л.Зенков.- М.: ВНИИПТМАШ, 1966. - 77с.
4. Электронный ресурс: Интернет-сайт Первый экскаваторный портал <http://www.history.exkavator.ru>, 2012.
5. Пенчук В.А., История и перспективы развития грейферных рабочих органов / В.А. Пенчук, Д.Г. Белицкий // Журнал: Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, 2007. Вып. 38.
6. Балашов В.П. Грузоподъёмные и транспортирующие машины на заводах строительных материалов / В. П. Балашов — М: Машиностроение — 1987 — 384с.
7. Ушаков П.Н. Спр-к: Краны и лифты Промышленных предприятий / П. Н. Ушаков, М. Г. Бродский — М, 1974. - 352 с.
8. Петухов П. З. Специальные краны / П. З. Петухов, Г. П. Ксюнин, Л. Г. Серлин — М: Машиностроение, 1985 – 248 с.
9. Шевченко Н. А. Исследование процесса зачерпывания материала грейфером с горизонтальным полиспастом / Н. А. Шевченко, Д. Н. Шевченко // Наукові вісті Давіівського університету: зб. наук. праць. – Луганськ, 2011. – № 2.
10. Михайлов И.В. Метод прочностного расчёта канатных грейферов при зачерпывании сыпучих грузов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.05.04 / Михайлов Игорь Вячеславович; - Астрахань, 2009.- 350 с.
11. Расчёт и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / Под ред. Е. Ю. Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.

12. Неймарк Ю. И. Динамика неголономных систем / Неймарк Ю. И., Фуфаев Н. А. – М.: Наука, 1967. – 519 с.
13. Аппель П. Теоретическая механика: Т. 2. Динамика системы, аналитическая механика / Пер. с франц. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит-ры, 1960. – 487 с.
14. Бате К. Ю., Вилсон Э. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982.
15. Сероштан В.И. Грузозахватные устройства: учебное пособие – М. издательство МГТУ им. Баумана, 2004 - 206 с.
16. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
17. Абуханов А.З. Механика грунтов: Учебное пособие / А.З.Абуханов. — Ростов н/Д: Феникс, 2006. — 352 с. — (Строительство).
18. Антонюк Е.Я. Динамика механизмов переменной структуры. — Киев: Наукова Думка, 1988. — 182 с.
19. Вайнсон А.А. Подъёмно-транспортные машины. — 3-е изд. — М.: Машиностроение, 1975. — 431 с.
20. Гениев Г.А., Эстрин М.И. Динамика пластической и сыпучей сред. — М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. — 216 с.
21. НПАОП 0.00 – 1.01 – 07 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов».
22. ГОСТ 12.3.009 – 76 (СТ СЭВ 3518-81) «Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности».
23. ГОСТ 12.4.026-76 «Цвета сигнальные и знаки безопасности».
24. ДСП 173 – 96 «Государственные санитарные правила планирования и застройки населенных пунктов».
25. ДСП 3.3.6 – 042 – 99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений».
26. ДБН В.2.5 – 28 – 2006 «Естественное и искусственное освещение».
27. СНиП 2.09.04 – 87 «Санитарно – бытовые помещения»

28. ДБН В.1.1.7 – 2002 «Защита от пожара. Пожарная безопасность объектов строительства».

29. ГОСТ 10807-78 «Знаки дорожные. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт».

30. Постанова Кабінета міністрів України від 30 листопада 2011 р. N 1232. Київ "Порядок расследования и ведения учета несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий на производстве".

31. ГОСТ 24599-87. Грейферы канатные для навалочных грузов. Общие технические условия. — М.: Изд-во стандартов. 1987. — 32 с. (рук. разработки Ясиновский А.М.).

32. Михайлов И.В. Движение несвободного твёрдого тела. // Вестник Астраханского государственного технического университета. — 2006. — №2 (31). — С. 102-108.

33. Пронин С.В. Повышение эксплуатационных качеств грейферов портовых кранов: Дис. . канд. техн. наук. — М., 1989. — 317с.

34. РД 31.46.07-87. Грейферы канатные для навалочных грузов. Типовые расчёты на прочность. Методика. — М.: В/О «Мортехинформреклама», 1987. 32 с. (рук. разработки Ясиновский А.М.).

35. Таубер Б.А. Грейферные механизмы. 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1967, —430 с.

36. Филяков А.Б. Развитие научных основ взаимодействия рабочих органов перегрузочных машин с насыпными грузами: Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. — Астрахань, 2004.— 411 с.

37. C.W.Gear, Ioannis G.Kevrekidis. Telescopic Projective Methods for Stiff Differential Equations. — 2001.

38. Пенчук В.А., Белицкий Д.Г. Техничко-економическая эффективность использования грейферного рабочего органа на малообъемных земляных работах. // Вісник ДонНАБА 2005-4(60). – С. 139-142.

ДОДАТКИ

Додаток 1

ГРЕЙФЕРЫ ДЛЯ НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГОСТ 24599-87

КАНАТНЫЕ

Настоящий стандарт распространяется на канатные грейферы, применяемые в качестве грузозахватных органов для навалочных грузов к грузоподъемным кранам.

Стандарт не распространяется: на приводные грейферы всех типов; на грейферы, для взрывоопасных, экскавационных и горнопроходческих работ, а также для перегрузки бревен и древесины других видов при упорядоченной ее укладке.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ

1.1. Грейферы классифицируют в соответствии с табл. 1. Допускается применять дополнительные классификационные признаки.

Т а б л и ц а 1

Классификационный признак	Вид грейферов		Обозначение	Примечание
Грузоподъемность крана, для которого предназначен грейфер	-		Число, обозначающее грузоподъемность в тоннах	Если грузоподъемность крана переменная или заранее предусмотрено ее недоиспользование при работе грейфером, в качестве грузоподъемности крана принимают значение, заданное для работы грейфером
Группа грузов	По обязательному <u>приложению 1</u>			
Конструктивное исполнение	Двухчелюстные	обычные штанговые при $L_1 \geq 0,55 L$	-	L и L_1 - по <u>черт. 1</u>
		обычные клещевые при $L_1 \geq 0,55 L$	К	
		подгребающие при $L_1 < 0,55 L$	П	
		регулируемые при $L_1 \geq 0,55 L$ и $L_1 < 0,55 L$	Р	
	Многочелюстные		М	-
Число канатов	Одноканатные		1к	-
	Двухканатные		-	При грузоподъемности крана до 5 т включительно
			2к	При грузоподъемности крана свыше 5 т
	Четырехканатные		-	При грузоподъемности крана до 5 т включительно
4к				
Ориентация двухчелюстного грейфера относительно канатов крана	С продольным раскрытием		Пр	Плоскость разъема челюстей совпадает с плоскостью поддерживающих канатов
	С поперечным раскрытием		-	Плоскость разъема челюстей перпендикулярна к плоскости поддерживающих канатов
Приспособленность для разгрузки вагонов	Предназначенные для разгрузки вагонов		В	В зависимости от выполнения требований п. 2.7

Классификационный признак	Вид грейферов	Обозначение	Примечание
	Не предназначенные для разгрузки вагонов	-	-
Характер черпания	Обычное	-	-
	Подводное	ПЧ	-

2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ

2.1. Основные параметры грейфера - грузоподъемность крана Q и группа грузов, для которых предназначен грейфер (см. [разд. 1](#) и [приложение 1](#)).

В стандартах (технических условиях) на грейферы конкретных типов (моделей) должны быть установлены следующие параметры и размеры:

собственная масса грейфера;

номинальная масса зачерпываемого груза;

фактическая масса зачерпываемых грузов конкретных видов по результатам испытаний;

геометрическая вместимость;

удельная материалоемкость;

размах челюстей L ([черт. 1](#) и [2](#));

ширина челюстей B ([черт. 1](#) для двухчелюстного грейфера) или размер S ([черт. 2](#) для многочелюстного грейфера);

кратность замыкающего полиспаста n ;

ход замыкающего каната H ([черт. 1](#));

размер L_1 ([черт. 1](#) и [2](#));

габаритные размеры открытого и закрытого грейфера;

наибольшая длина грейфера L_3 , если она превышает L ([черт. 3](#));

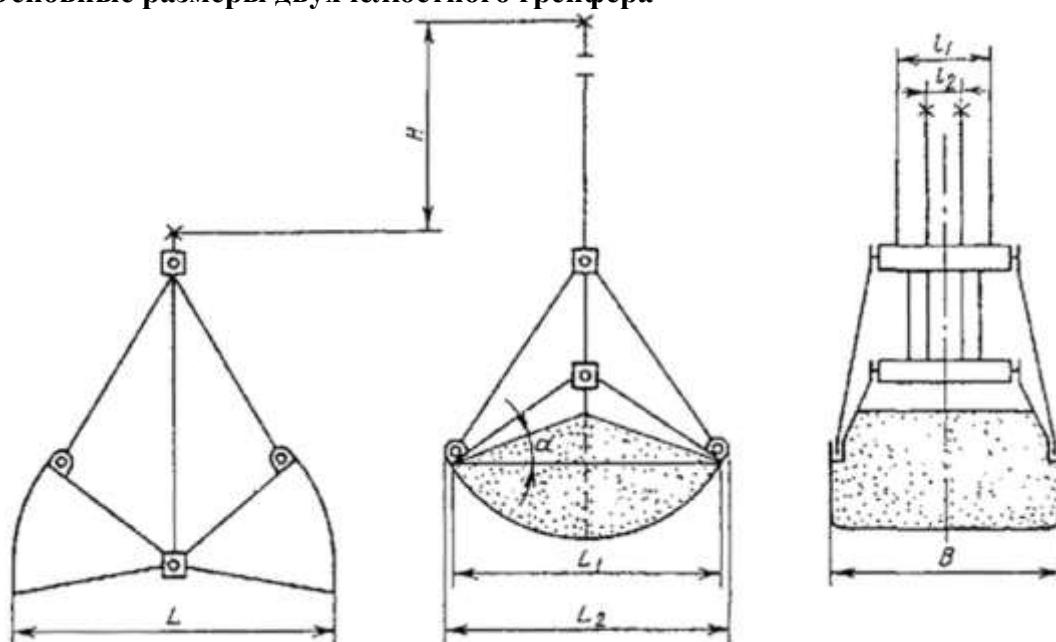
наибольшая ширина грейфера B_1 , если она превышает B ; присоединительные размеры, например l_1 и l_2 ([черт. 1](#));

диаметр каната d_k .

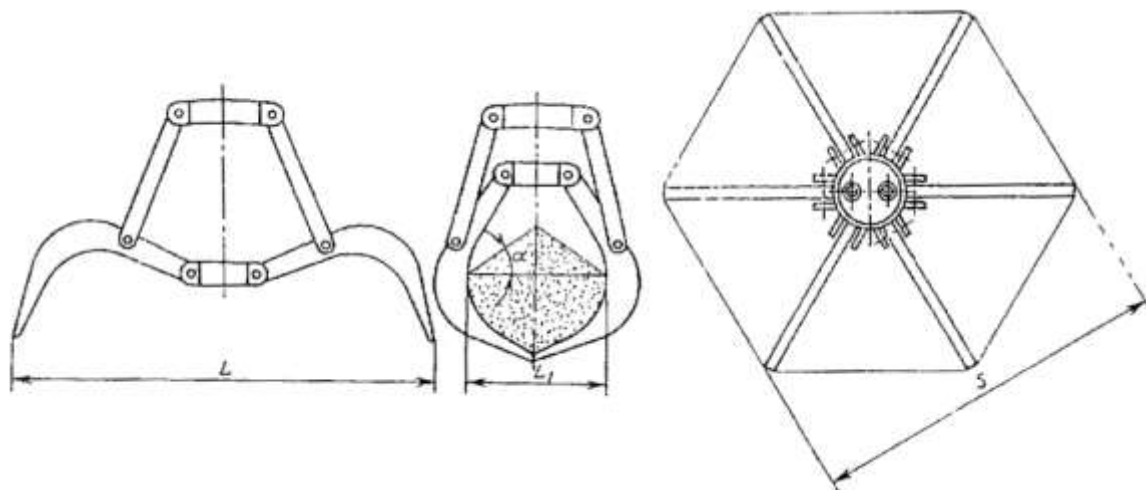
2.2. Собственная масса грейфера G должна быть не более значений, указанных в [табл. 2](#).

Допускается увеличивать массу подгребающих грейферов пропорционально размаху, если размах в метрах превышает . При этом масса грейфера не должна превышать $0,6Q$.

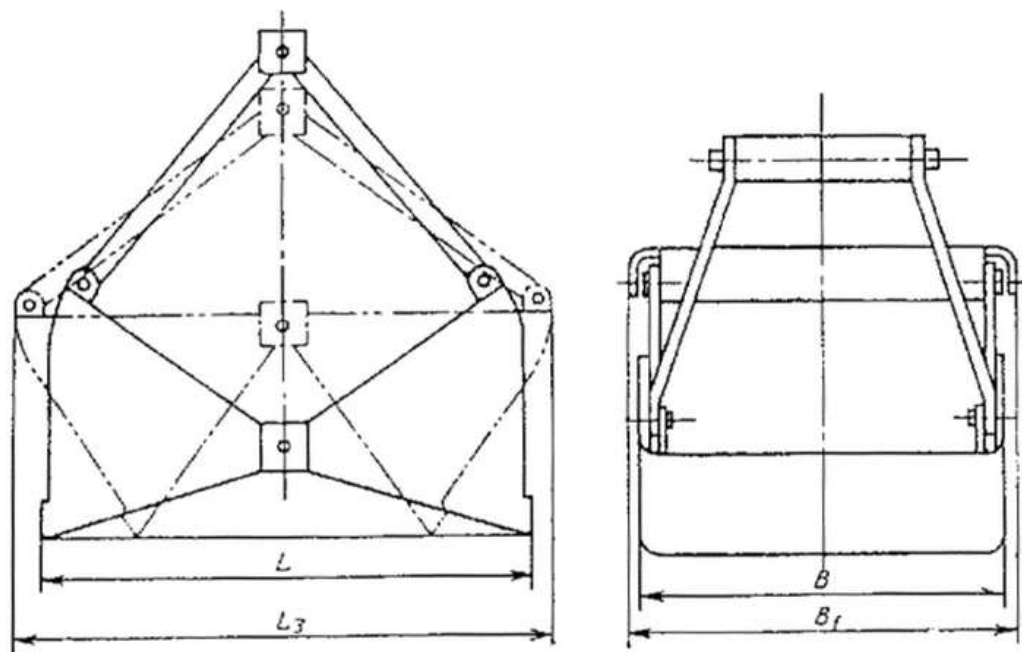
Основные размеры двухчелюстного грейфера



Черт. 1 Основные размеры многочелюстного грейфера



Черт. 2

(недопустимо $L_3 > L$; $B_1 > B$)

Черт. 3

Т а б л и ц а 2

более	G, т, не	Группа грузов	Дополнительные условия
	0,360 Q	C2л, C3л, BT1л, BT2л	-
	0,380 Q	C1л, C2лс, C3лс, T1л, T2л, BT1лс, BT2лс, BT1, BT2	-
		C3, T1, T2	При Q ³ 16 т
	0,400 Q	Л1, Л2, C1, C2, C1лс, T1лс, T2лс	-
		C3, T1, T2	При Q < 16 т
	0,425 Q	Л1с, Л2с	-
	0,450 Q	ВЛ2	-
		Трудпозачерпываемые	Для многочелюстных и подгребающих грейферов при Q ³ 16 т
	0,500 Q	ВЛ1, ВЛ2с	-
		Труднозачерпываемые	Для многочелюстных и подгребающих грейферов при Q < 16 т

Допускаемое отклонение фактической массы порожнего грейфера от указанной в конструкторской документации - до $\pm 2\%$.

2.3. Номинальную массу зачерпываемого груза $P_{\text{ном}}$ следует определять по формуле

$$P_{\text{ном}} = Q - G, \quad (1)$$

где Q - грузоподъемность крана, т;

G - масса грейфера по конструкторской документации, т.

2.4. Фактическая масса зачерпываемого груза P , определяемая испытаниями в соответствии с п. 6.8, должна быть не более номинальной массы груза $P_{\text{ном}}$ и не менее:

0,80 $P_{\text{ном}}$ - для грузов тех групп (марок, сортов), для которых предназначен грейфер (кроме грузов групп, указанных ниже);

0,63 $P_{\text{ном}}$ - для грузов групп ВЛ1, ВЛ2с, а также для всех труднозачерпываемых грузов и при подводном черпании.

Предварительное расчетное определение P - по приложению 2.

2.5. Геометрическую вместимость грейфера (но не объем зачерпываемого груза) следует определять как объем условного геометрического тела (черт. 1 и 2).

Угол α должен быть в пределах $0-60^\circ$.

В стандартах или технических условиях, а также в эксплуатационной документации, направляемой с грейфером, следует указывать значения геометрической вместимости при $\alpha = 0^\circ$ и 30° , - обозначаемые V_0 и V_{30} .

Допускается указывать дополнительные значения геометрической вместимости, вычисленные при других значениях α (например V_{35} , V_{45} и т. д.).

2.6. Удельную материалоемкость следует определять отношением собственной массы грейфера G к его геометрической вместимости V_{30} .

2.7. Параметры грейферов, предназначенных для разгрузки железнодорожных вагонов колеи 1520 мм, должны удовлетворять следующим требованиям:

номинальная масса порожнего грейфера - не более 8 т;

длина двухчелюстного грейфера в положении полного раскрытия должна быть ограничена вертикальными внешними плоскостями ножей, то есть равна размаху челюстей L (черт. 1 и 2). В последующих положениях грейфера по мере закрывания длина грейфера не должна превышать L (для регулируемых систем наибольшее из значений L);

ширина челюстей B должна быть ограничена внешними плоскостями боковых ножей;

недопустимое исполнение - по черт. 3.

При размахе двухчелюстного грейфера более 2720 мм его ширина должна быть в диапазоне 1500-2500 мм.

Размах многочелюстного грейфера L должен быть не более 2720 мм, а размер S (черт. 2) не более 2500 мм в положении полного раскрытия. В последующих положениях по мере закрывания эти размеры не должны увеличиваться.

2.8. Регулируемые грейферные системы - системы с изменяемыми параметрами: размахом L ; кратностью замыкающего полиспаста n ; усилием на режущей кромке; геометрической вместимостью V_{30} .

Значения регулируемых параметров указывают в стандартах (технических условиях) на грейферы конкретных типов (моделей).

2.9. Условное обозначение грейфера состоит из условного обозначения классификационных признаков грейфера по табл. 1 и 2 и обозначения настоящего стандарта.

Примеры условных обозначений грейфера к крану грузоподъемностью 10 т для грузов группы С1, двухчелюстного четырехканатного с поперечным раскрытием, обычного штангового, предназначенного для разгрузки вагонов:

10-С1-В ГОСТ 24599-87

То же, к крану грузоподъемностью 8 т для грузов группы Л2то, многочелюстного, двухканатного, не предназначенного для разгрузки вагонов:

8-Л2то-М-2к ГОСТ 24599-87

То же, к крану грузоподъемностью 2,5 т для грузов группы Л2, двухчелюстного обычного штангового, одноканатного, предназначенного для разгрузки вагонов:

2,5-Л2-1к-В ГОСТ 24599-87

То же, к крану грузоподъемностью 20 т для грузов группы С2, двухчелюстного четырехканатного с продольным раскрытием, подгребающего:

20-С2-Пр-П ГОСТ 24599-87

То же, к крану грузоподъемностью 16 т для грузов группы С3л, двухчелюстного четырехканатного с продольным раскрытием, обычного клещевого, для подводного черпания, не предназначенного для разгрузки вагонов:

16-С3л-Пр-К-ПЧ ГОСТ 24599-87

То же, к крану грузоподъемностью 16 т для грузов группы Т2л, двухчелюстного четырехканатного с продольным раскрытием, обычного клещевого, с регулируемыми параметрами, предназначенного для разгрузки вагонов:

16-Т2л-Пр-К-Р-В ГОСТ 24599-87

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.1. Характеристики (свойства).

3.1.1. Грейферы должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта, стандартов (технических условий) на грейферы конкретных типов (моделей) и «Правилами устройства и безопасной эксплуатации, грузоподъемных кранов», утвержденными Госгортехнадзором СССР, по рабочим чертежам, утвержденным в установленном порядке.

Виды климатического исполнения - У1 и М1 по ГОСТ 15150-69. Допускается изготавливать конкретные типы (модели) и партии грейферов в иных климатических исполнениях, если это установлено в стандартах (технических условиях) на грейферы конкретных типов (моделей).

3.1.2. Полный средний ресурс грейфера в тоннах переработанного груза на 1 т собственной массы грейфера для кранов грузоподъемностью от 5 до 16 т должен быть не менее:

260000 - при работе на грузах Л1, Л2;

200000 - при работе на прочих грузах.

Полный установленный ресурс грейфера в тоннах переработанного груза на 1 т собственной массы грейфера для кранов грузоподъемностью от 5 до 16 т должен быть не менее:

200000 - при работе на грузах Л1, Л2;

160000 - при работе на прочих грузах.

Для кранов других грузоподъемностей указанное значение должно быть умножено на поправочный коэффициент:

1,25 - для грузоподъемностей до 5 т;

0,8 - для грузоподъемностей свыше 16 до 25 т;

0,65 - для грузоподъемностей свыше 25 до 50 т;

0,50 - для грузоподъемностей свыше 50 до 63 т.

3.1.2.1. Полный средний ресурс и полный установленный ресурс грейферов, предназначенных для труднозачерпываемых грузов, подводного черпания, стесненных условий работы, а также грузов с высокой абразивностью (например кокса, агломерата, металлургических шлаков, ферросплавов и т. п.) или нагретых свыше 200 °С должен быть снижен на 20 % - для двухчелюстных и на 50 % - для многочелюстных грейферов.

3.1.2.2. Полный средний ресурс и полный установленный ресурс одноканатных грейферов для любой группы груза должен быть снижен на 20 % независимо от грузоподъемности крана.

3.1.2.3. При определении ресурса грейфера за предельное принимают такое его состояние, когда полное восстановление работоспособности основных частей грейфера (челюстей, тяг, траверс) ремонтными средствами невозможно или экономически нецелесообразно.

3.1.3. Нормы безотказности должны устанавливаться для грейферов конкретных типов (моделей) с учетом требований ГОСТ 27.002-83:

средняя наработка грейфера на отказ должна быть не менее 30 % полного установленного ресурса по 3.1.2;

установленная безотказная наработка грейфера должна быть не менее 70 % средней наработки на отказ;

замену канатов, синтетических блоков и втулок, сменных полиспастов, исчерпавших свой ресурс, не учитывают как отказы грейферов.

3.1.4. Конструкцией грейферов должна быть обеспечена быстросменность канатов в полиспастах грейфера.

3.1.5. Узлы и детали (исключая челюсти и тяги) грейферов одного параметрического ряда различных типов (моделей) с одинаковой кратностью замыкающего полиспаста, предназначенных для однотипных кранов заданной грузоподъемности, должны быть унифицированы.

3.1.6. Конструкцией грейферов должна быть исключена возможность выхода канатов из ручьев блоков в результате ослабления канатов или наклона грейфера на угол 90 ° в любую сторону.

3.1.7. Канатные блоки и ролики (в том числе отклоняющие и направляющие), а также шарнирные неполноповоротные сочленения допускается выполнять как на подшипниках качения, так и скольжения, выполненных из синтетических материалов.

Узлы с подшипниками качения должны быть снабжены надежными уплотнениями, не требующими технического обслуживания.

Уплотнения подшипников грейферов для подводного черпания должны исключать попадание смазочных материалов в водную среду в процессе работы.

Рекомендуемый облегченный профиль обода блока - по черт. 4 приложения 3.

3.1.8. Концы сдвоенных замыкающих и поддерживающих канатов следует присоединять к грейферу отдельно через балансирное устройство или без него.

3.1.9. Направляющие устройства на выходе канатов из верхней траверсы грейфера следует выполнять в виде стальных направляющих втулок. Профиль рабочей (внутренней) поверхности втулок - по черт. 5 приложения 4.

Допускается применять другие материалы, в том числе неметаллические, износостойкость которых не ниже стали.

Допускается исполнять направляющие устройства в виде системы блоков и (или) роликов.

3.1.10. Все неразъемные соединения в конструкции грейфера должны быть сварными. Заклепочные соединения допускается применять только в технически обоснованных случаях для элементов, изготовленных из разнородных материалов, например из стали и алюминиевого сплава, причем места контактов этих материалов должны иметь защитные покрытия, предотвращающие их электрохимическую коррозию.

3.1.11. Все сварные соединения в конструкции грейфера должны соответствовать требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», утвержденных Госгортехнадзором СССР, предъявляемым к ответственным элементам крановых конструкций.

3.1.12. Все ролики и блоки в собранном грейфере должны свободно проворачиваться от руки при отсутствии на них нагрузок.

При раскрывании и закрывании грейфера без груза не должно быть заеданий и скрипов.

3.1.13. Кромки ножей закрытого двухчелюстного грейфера должны плотно прилегать друг к другу. Допускается зазор не более 5 мм на отдельных участках суммарной длиной не более 40 % длины линии разреза кромок, а также относительное смещение кромок по высоте в сомкнутом положении в пределах 20 % толщины ножа.

Зазоры между челюстями и допуски на указанные зазоры для многочелюстных грейферов и грейферов, предназначенных для перегрузки крупнокусковых грузов, устанавливаются в конструкторской документации на грейферы конкретных типов (моделей), но не должны превышать 10 мм.

Если грейфер предназначен для легкосыпучих грузов («с» по приложению 1), то следует предусматривать более жесткие требования к прилеганию кромок или применять специальные конструкции с эластичным уплотнением либо с перекрытием ножей внахлестку.

Грейферы, предназначенные для переработки агрессивных пылящих грузов, должны быть достаточно герметичными для исключения истечения груза из щелей или его выдувания с открытых поверхностей.

Грейферы, предназначенные для труднозачерпываемых, смерзшихся и слежавшихся грузов, допускается выполнять с перекрытием ножей или челюстей внахлестку, а также устанавливать клыки, вибрационные устройства и т. п., при этом допускается неплотное прилегание кромок.

3.1.14. Смазочные полости, зазоры и каналы должны быть заполнены смазкой.

3.1.15. Все несмазываемые металлические поверхности грейфера должны быть окрашены по VI классу ГОСТ 9.032-74, группа условий эксплуатации - В5 по ГОСТ 9.104-79, лакокрасочные материалы - по группе 1 ГОСТ 9825-73; перед окраской степень обезжиривания - 2, степень очистки от окислов для челюстей - 4, для прочих поверхностей - 3.

При перевозке грейфера в комплекте с краном требования к окраске такие же, как для наружных поверхностей крана.

Грейфер перед отгрузкой должен быть окрашен в желтый сигнальный цвет в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.026-76.

Грейферы в комплекте с кранами могут направляться в загрунтованном виде. Окончательная окраска проводится после монтажа крана.

Восстановление окраски челюстей, стершейся от соприкосновения с грузом, в процессе эксплуатации не обязательно.

3.2. Требования к сырью, материалам и комплектующим изделиям.

3.2.1. Элементы конструкций грейферов должны изготавливаться из материалов, указанных в табл. 3. Для грейферов к кранам грузоподъемностью более 16 т следует применять наиболее прочные материалы.

Допускается применять другие материалы, механические свойства (свариваемость для сварных конструкций) которых не ниже свойств материалов, указанных в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Наименование элементов конструкций	Материал
Режущие пояса (ножи), приварные наконечники челюстей многочелюстных грейферов, приварные зубчатые секторы челюстей	Сталь 10ХСНД, 10Г2С1Д по ГОСТ 19282-73 или ГОСТ 5521-86
Силовые элементы челюстей, траверс, тяг	Сталь 10ХСНД, 09Г2, 09Г2С по ГОСТ 5521-86 или ГОСТ 19282-73, 10Г2С1Д по ГОСТ 19282-73
Прочие сварные конструкции и детали, включая клиновые втулки (но не конусные) для крепления концов канатов и сварные блоки	Сталь ВСт3, ВСт4 или ВСт3сп3, а при толщине до 10 мм только ВСт3сп3. ВСт3Гпс3 по ГОСТ 380-71 с гарантией свариваемости, 10ХСНД, 09Г2, 09Г2С по ГОСТ 5521-86 или ГОСТ 19282-73. 10Г2С1Д по ГОСТ 19282-73
Оси, валы	Сталь 45 по ГОСТ 1050-74, 40Х по ГОСТ 4543-71

Наименование элементов конструкций	Материал
Съемные зубчатые секторы и зубья челюстей двухчелюстных грейферов, наконечники челюстей многочелюстных грейферов	Сталь 45 по ГОСТ 1050-74, 40Х по ГОСТ 4543-71, отливка 45Л-III по ГОСТ 977-75
Втулки шарниров	Сталь 20 по ГОСТ 1050-74, 18ХГ по ГОСТ 4543-71, полиамид 6 блочный (капролон В) ТУ 6-05-988-83
Направляющие для канатов	Сталь 20 по ГОСТ 1050-74
Клиновые и конусные втулки для крепления концов канатов	Отливки 20Л-III, 25Л-III по ГОСТ 977-75 Поковки ГрIV-КП22 ГОСТ 8479-70
Литые блоки	Отливки 20Л-II, 25Л-II по ГОСТ 977-75, полиамид 6 блочный (капролон В) ТУ 6-105-988-83, чугун СЧ21 по ГОСТ 1412-85 и ГОСТ 26358-84
Прочие литые детали	Отливки 20Л-II, 25Л-II по ГОСТ 977-75

Элементы конструкций грейферов, предназначенных для работы с крупнокусковыми, смерзшимися грузами, а также для работы в условиях низких температур, изготавливают из материалов, обладающих более высокой демпфирующей способностью с учетом ее стабильности при снижении температуры (черт. 6 приложения 5).

3.2.2. В качестве перспективных материалов для сварных соединений элементов конструкций грейферов предпочтительны высокопрочные свариваемые стали марок 14ХМНДФР, 12ХН2МДФ, 12ГН2МФАЮ, Г4Х2ГМ, 14ХГНМ, 15Г2АФД, 14ХГНМД, 12Г2СМФ, 14Х2ГМР, легкие сплавы на основе алюминия марок АМг6, В92, а также на основе титана; для втулок шарниров и подшипников скольжения канатных блоков - марганцовистая сталь марки 110Г13, металлополимеры, порошковые материалы, синтетические материалы (поликарбонаты, фторопласты, конструкционные норпласты, синтетические ткани на основе фторлоновых волокон).

3.2.3. Твердость поверхности элементов конструкций и вид термообработки должны соответствовать указанным в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Наименование элементов конструкций грейферов	Вид термообработки	Твердость HRC ₂ , не менее
Оси шарниров	Закалка объемная или поверхностная, отпуск	36,7-41,6
Прочие оси, валы, съемные зубчатые секторы челюстей	Закалка, отпуск	28,0-31,8
Стальные втулки шарниров	Цементация или азотирование поверхностей трения, закалка, отпуск	46,4-51,3
Направляющие втулки для канатов	Закалка	57,1-61,0
Прочие литые стальные детали	Отжиг	-

3.2.4. Ножи и другие наиболее подверженные износу поверхности челюстей должны быть упрочнены твердосплавной наплавкой, напылением, нанесением дискретных покрытий методом электроискрового легирования или приваркой защитного элемента из стали типа 110Г13 в соответствии с требованиями стандартов (технических условий) на грейферы конкретных типов (моделей).

3.3. К о м п л е к т н о с т ь

3.3.1. К грейферам должна прилагаться эксплуатационная документация.

3.3.2. Эксплуатационная документация должна включать паспорт или формуляр и инструкцию по эксплуатации и соответствовать ГОСТ 2.601-68.

Если грейфер входит в комплект крана, соответствующие данные должны содержаться в эксплуатационной документации на кран.

3.4. М а р к и р о в к а

3.4.1. На грейфере должна быть прикреплена металлическая табличка по ГОСТ 12969-67 и ГОСТ 12971-67, на которой указывают:

наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
порядковый номер по системе нумерации предприятия-изготовителя;
собственную массу грейфера;
условное обозначение грейфера по ГОСТ 24599-87.

Применение плоских надписей на табличке не допускается.

Табличка должна быть укреплена на одной из наиболее долговечных частей грейфера в месте, доступном для рассмотрения, не подверженном загрязнению и соприкасанию с грузом и внешними предметами.

Рядом с табличкой на металлоконструкции грейфера должна быть нанесена электронаплавкой выпуклая надпись, содержащая условное обозначение грейфера (например 5-Л1с). Высота цифр и прописных букв - не менее 100 мм, строчных букв - 50 мм.

3.4.2. Транспортная маркировка грейферов - по ГОСТ 14192-77.

3.5. У п а к о в к а

3.5.1. Временная антикоррозионная защита открытых неокрашенных поверхностей - по варианту ВЗ-1 ГОСТ 9.014-78.

3.5.2. Грейферы не упаковывают.

3.5.3. Эксплуатационную документацию на грейфер направляют вместе с документацией на кран, если грейфер входит в комплект крана, или высылают почтой, если грейфер изготовлен отдельно. В эксплуатационной документации указывают требования к сборке грейферов.

4. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

4.1. Конструкцией и качеством изготовления грейфера должна быть обеспечена безопасность его эксплуатации в соответствии с требованиями «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», утвержденных Госгортехнадзором СССР.

4.2. Раскрытие грейфера должно быть плавным без рывков и заеданий.

4.3. Элементы конструкций грейферов не должны иметь острых углов, кромок и поверхностей с неровностями, представляющими опасность для обслуживающего персонала. Допускаются острые режущие кромки ножей, зубьев и наконечников челюстей.

Поверхности сварных швов и свариваемых деталей должны быть очищены от наплывов, окалины и шлака.

Параметр шероховатости открытых поверхностей металлоконструкций, образованных резкой, $Rz \leq 630$ мкм, если конструкторской документацией не установлены более жесткие требования.

4.4. Головки пальцев, осей не должны выступать за габариты грейфера.

Пальцы, оси грейфера должны быть закреплены надежными оседержателями.

4.5. Для закрепления концов поддерживающих и замыкающих канатов на грейфере следует применять стальные конусные или плоские клиновые втулки с клиньями. Допускается применять другие устройства, при которых концы канатов должны быть зачалены на коуш.

4.6. На всех грейферах, кроме подгребающих и клещевых, должны быть предусмотрены ступени (скобы и т. п.), обеспечивающие безопасность и удобство работ по обслуживанию неподвижного грейфера (навеска на кран, отцепка, замена канатов, смазка).

На подгребающих и клещевых грейферах, обслуживание которых проводится на площадке в раскрытом положении, установка ступеней не обязательна.

Конструкцией грейфера должны быть предусмотрены устройства (проушины, скобы) для крепления тросовых оттяжек успокоителя.

5. ПРИЕМКА

5.1. Для проверки соответствия грейферов требованиям настоящего стандарта и стандартов (технических условий) на грейферы конкретных типов (моделей) должны проводиться квалификационные, приемо-сдаточные и периодические контрольные испытания.

5.2. При квалификационных испытаниях каждый грейфер должен быть проверен на соответствие требованиям пп. 2.2, 3.1.12-3.1.15, 3.2.3, 3.2.4, 3.3, 3.4, 4.2-4.7 настоящего стандарта и конструкторской документации на грейфер конкретного типа (модели).

Базовые образцы грейферов для кранов грузоподъемностью 40-63 т рекомендуется подвергать тензометрическим натурным испытаниям по методикам, утвержденным в установленном порядке.

5.3. При приемо-сдаточных испытаниях каждый грейфер должен быть проверен на соответствие пп. 2.2, 3.1.12-3.1.15, 3.2.3, 3.2.4, 3.3, 3.4, 4.2-4.7 и рабочим чертежам, а также испытан на раскрытие и закрывание челюстей без груза.

Из каждой партии должны быть испытаны статической нагрузкой не менее 10 % грейферов. Партию испытуемых грейферов устанавливают в стандартах (технических условиях) на грейферы конкретных типов (моделей).

5.4. Периодические испытания грейферов должны проводиться не реже раза в три года при стабильном (ежегодном) изготовлении однотипных грейферов и раз в пять лет - в случае их периодического изготовления.

Допускается совмещать проведение периодических испытаний грейферов, изготавливаемых совместно с кранами, с периодичностью проведения испытаний кранов.

Периодическим испытаниям следует подвергать грейферы, выдержавшие приемо-сдаточные испытания.

Допускается проводить периодические испытания в случаях, предусмотренных «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», утвержденных Госгортехнадзором СССР.

5.5. Для испытаний на зачерпывающую способность из испытуемой партии может быть отобрано любое число грейферов, но не менее 10 % общего числа.

При невозможности испытания грейферов на грузах всех групп, для которых они предназначены, допускается проводить сокращенные испытания на зачерпывающую способность на одной или нескольких группах (марках, сортах) грузов, из числа тех, для которых он предназначен. В этом случае дополнительная информация о зачерпывающей способности грейфера на грузах других групп должна быть получена, при необходимости, по мере проведения дополнительных испытаний.

5.6. Контрольные испытания на надежность должны проводиться по стандартам (техническим условиям) на грейферы конкретных типов (моделей).

6. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

6.1. Собственную массу грейфера следует проверять взвешиванием при помощи товарных или технологических весов любого типа не грубее обычного класса точности по ГОСТ 23676-79, предпочтительно проводить взвешивание при помощи крановых пружинных циферблатных весов.

6.2. Статическую прочность конструкции грейфера следует проверять путем симметричного нагружения челюстей пробным грузом, равным $1,25 R_{ном}$. Закрытый грейфер с пробным грузом должен быть поднят попеременно на замыкающих и поддерживающих канатах.

Схему подвешивания груза к челюстям уточняют в стандартах (технических условиях) либо в других документах на грейферы конкретных типов (моделей).

6.3. Качество сборки следует проверять испытанием на раскрытие и закрывание челюстей без груза после полной сборки грейфера. Для испытания может быть использован любой кран грузоподъемностью не менее собственной массы грейфера, причем грейфер

должен быть поднят попеременно на поддерживающих и замыкающих канатах соответственно для раскрывания и закрывания.

6.4. Качество швов сварных соединений (пп. 3.1.10, 3.1.11) следует проверять в соответствии с требованиями «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» и ГОСТ 3242-79.

6.5. Измерение твердости (п. 3.2.3) - по ГОСТ 9013-59.

6.6. Измерение шероховатости (п. 4.3) - визуально с использованием образцов по ГОСТ 9378-75.

6.7. Проверка выполнения требований п. 3.1.12 - на слух и на ощупь, п. 3.1.13 - внешним осмотром и измерением, п. 3.1.14 - пробным продавливанием смазки, п. 4.3 - визуально и на ощупь, пп. 3.1.15, 4.2 и п. 4.7 - визуально.

6.5. Испытания на зачерпывающую способность следует проводить путем пробных зачерпываний и взвешиваний зачерпнутого груза тех групп, для которых предназначен грейфер.

Зачерпывание должно проводиться с горизонтальной поверхности свежесыпанного штабеля достаточной высоты, образованного объемом груза, превышающим десятикратную геометрическую вместимость грейфера, послойным насыпанием груза с высоты 1 м, причем поддерживающие канаты и оттяжка-успокоитель должны быть ослаблены на всем протяжении зачерпывания, а замыкающие канаты должны двигаться безостановочно.

Испытуемый грейфер должен быть опущен на поверхность штабеля в полностью раскрытом положении с высоты 0,5 м.

Пробные зачерпывания должны быть повторены не менее трех раз. Среднюю массу зачерпываемого груза считают фактической зачерпывающей способностью грейфера и сопоставляют с требованиями п. 2.4.

Допускается взвешивать как каждую отдельную порцию груза, так и все порции вместе, используя весы любого типа не грубее обычного класса точности по ГОСТ 23676-79.

6.9. При контрольных испытаниях на надежность каждого грейфера должна учитываться наработка на каждый отказ.

Контроль показателей надежности грейферов проводят по ГОСТ 27.401-84 по нижней доверительной границе. Методы вычисления нижней доверительной границы показателей надежности - по ГОСТ 27.503-81.

Полученные значения сравнивают с требованиями пп. 3.1.2 и 3.1.3.

6.10. Быстросменность канатов (п. 3.1.4) устанавливают методом экспертной оценки по завершению контрольных испытаний на надежность.

7. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

7.1. Допускается транспортировать грейферы для кранов грузоподъемностью свыше 16 т в разобранном виде в ящиках.

7.2. Транспортируют грейферы транспортом любого вида в соответствии с правилами перевозки грузов, действующими на данном транспорте, а на железнодорожном транспорте также в соответствии с «Техническими условиями погрузки и крепления грузов», утвержденными Министерством путей сообщения.

Условия транспортирования - по группе 9 ГОСТ 15150-69.

7.3. Хранение грейферов - по группе условий хранения 8 ГОСТ 15150-69.

8. ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

8.1. Изготовитель гарантирует соответствие грейфера требованиям настоящего стандарта при соблюдении условий эксплуатации, хранения и транспортирования.

8.2. Гарантийный срок эксплуатации - 12 мес с момента ввода грейфера в эксплуатацию при наработке, не превышающей 80 % ресурса, указанного в п. 3.1.2.

ПРИЛОЖЕНИЕ

I

Обязательное

КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУЗОВ, ДЛЯ КОТОРЫХ ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ГРЕЙФЕРЫ

1. Грузы подразделяют на группы по насыпной плотности в соответствии с табл. 5.

Допускается относить отдельные группы грузов к соседней группе грузов, причем к ближайшей последующей группе допускается относить грузы с повышенной вязкостью, уплотняемостью и податливостью внедрению, а к ближайшей предыдущей группе - грузы с противоположными свойствами.

Т а б л и ц а 5

Группа грузов		Насыпная плотность, т/м ³	
Наименование	Обозначение	Не менее	Не более
Весьма легкие	ВЛ1	-	0,40
	ВЛ2	0,40	0,63
Легкие	Л1	0,63	0,80
	Л2	0,80	1,00
Средние	С1	1,00	1,25
	С2	1,25	1,60
	С3	1,60	2,00
Тяжелые	Т1	2,00	2,50
	Т2	2,50	3,20
Весьма тяжелые	ВТ1	3,20	4,00
	ВТ2	4,00	4,50

2. Грузы с кусками размеров, превышающих указанные в табл. 6, относят к труднозачерпываемым, что обозначается буквой «т» после основного обозначения группы, например Т1т, Л2т и т. д.

Т а б л и ц а 6

Грузоподъемность крана, т	Размеры кусков, мм					
	средневзвешенные, по группам для грузов					Максимальные
	ВЛ	Л	С	Т	ВТ	
До 8	100	80	63	50	40	250
От 8 » 16 включ.	125	100	80	63	50	320
Св. 16	160	125	100	80	63	400

3. К труднозачерпываемым относят грузы, утратившие сыпучесть из-за слеживания, смерзания или спекания, если нет возможности восстановить их сыпучесть рыхлением, размораживанием и другими средствами до перегрузки грейферами.

4. Груз, состоящий из бесформенных или удлиненных элементов (волокон), значительная часть которого выходит за пределы объема, ограниченного челюстями грейфера, обозначают буквами «то» после основного обозначения группы груза, например ВЛ2то.

5. Сыпучие неслеживающиеся порошкообразные и зернистые грузы относят к легкозачерпываемым грузам и обозначают буквой «л» после основного обозначения группы, начиная с группы С1, например С1л, Т2л и т. д.

6. Грузы, к предотвращению просыпи и сдувания которых предъявляют повышенные требования, называются легкосыпучими и обозначают буквой «с» после основного обозначения группы, например Л1с, С1лс и т. д.

7. В стандартах (технических условиях) на грейферы конкретных типов (моделей), кроме указания группы груза, следует приводить перечень конкретных видов (марок, сортов) грузов, для которых этот грейфер предназначен и признан пригодным по результатам испытаний на зачерпывающую способность. Допускается предназначать грейфер для груза конкретного вида (марки, сорта).

8. Примеры соответствия некоторых грузов группам приведены в приложении 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ

2

Справочное

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ЗАЧЕРПЫВАЕМОГО ГРУЗА

В качестве предварительного расчетного значения массы груза, зачерпываемого двухчелюстным грейфером, рекомендуется принимать меньшее из значений, вычисленных по формуле

(2)

(3)

где P - масса груза данного вида, которую способен зачерпнуть грейфер, т;

K - коэффициент, зависящий от формы поверхности штабеля, причем для горизонтальной плоскости поверхности $K = 1$;

g - насыпная плотность груза, т/м³;

L - размах грейфера, м;

B - ширина челюстей, м;

$h_0 = 0,3$ - расчетная константа (модуль глубины), м;

H - ход замыкающего каната, м;

G - масса грейфера, т;

q_0 - эмпирическая характеристика податливости груза внедрению, т/м;

V_{30} - геометрическая вместимость грейфера, определенная при условном значении угла $\alpha = 30^\circ$, м³;

K_V - наибольший возможный для данного груза коэффициент наполнения и уплотнения.

Если грейфер предназначен для нескольких видов грузов, то при оценке зачерпывающей способности должен быть выбран основной, по признаку преобладания в грузопотоке, а при отсутствии этого признака - основным следует считать груз с наименьшим для выбранной группы значением g .

Справочные данные о характеристиках грузов приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Характеристики груза

Наименование	Насыпная плотность g , т/м ³		Размеры частиц (кусков), мм			q_0 , т/м	K_V , не более	Группа
	не менее	не более	наименьшие	наибольшие	средние			
Агломерат железной руды	1,45	1,90	5	100	40	0,210	1,2-2	C3
Антрациты:								
АК	0,92	0,99	50	100	70	0,069	1,22	Л2
АМ	0,92	0,98	13	25	20	0,058	1,15	Л2
АО	0,92	0,98	25	50	40	0,060	1,15	Л2
АОМ	0,92	0,98	12	50	30	0,059	1,15	Л2
АС	0,87	0,93	6	13	10	0,043	1,15	Л2
АШ	1,04	1,12	0	6	3	0,046	1,30	С1л
АРШ	1,00	1,06	0	100	70	0,080	1,30	С1л
Апатит порошкообразный	0,40	0,60	0	0,5	0,1	0,060	1,15	ВЛ2
Апатитовый концентрат	1,80	2,00	0	0	0	0,090	1,15	С3лс
Аргиллит	1,05	1,10	0	200	60	0,180	1,22	С1
Асбест порошкообразный	0,40	0,60	0	0	0	0,090	1,25	ВЛ2
Асфальт гранулированный	1,10	1,40	20	40	30	0,100	1,15	С2л
Барит кусковой	1,90	2,00	25	100	60	0,410	1,15	С3
Бетон	2,00	2,20	0	80	5	0,100	1,15	Т1л
Бокситы венгерские рядовые	1,40	1,45	0	300	80	0,280	1,15	С2; С2т*
Бокситы гвинейские дробленые	1,20	1,30	0	50	30	0,160	1,15	С2
Бокситы греческие «Парнас»	1,90	2,00	0	25	10	0,320	1,15	С3

Наименование	Насыпная плотность g, т/м ³		Размеры частиц (кусков), мм			q ₀ , т/м	K _v , не более	Группа
	не менее	не более	наименьшие	наибольшие	средние			
Бокситы греческие «Хеликон», «Элефсис»	2,15	2,25	0	200	60	0,370	1,15	T1
Бокситы турецкие рядовые	1,80	1,90	50	600	200	0,400	1,15	C3т
Бокситы югославские «Косово»	2,00	2,20	0	400	200	0,390	1,15	T1т
Бокситы югославские «Никшич», «Крушево», «Обревац»	1,80	1,90	0	200	60	0,280	1,15	C3
Гипс гранулированный	1,20	1,40	0	20	10	0,180	1,15	C2
Гипс кусковой	1,43	1,60	10	150	60	0,400	1,15	C2
Гипсовая шихта (с глиной и коксом)	1,00	1,06	0	150	40	0,090	1,15	C1л
Глина сухая	1,10	1,60	0	0	0	0,080	1,20	C2л
порошкообразная								
Глина влажная	1,60	1,90	0	0	0	0,120	1,30	C3л
Глинозем	0,90	1,35	0	0	0	0,050	0,90	C1с
Гравий	1,50	1,85	10	80	30	0,140	1,15	C3
Гравийно-песчаная смесь	1,60	1,90	0	80	10	0,140	1,25	C3л; C3*
Гравий тяжелый с камнями	1,90	2,00	0	300	60	0,450	1,15	C3; C3т*
Гранит-брусчатка	1,90	2,10	100	150	120	0,350	1,20	C3т
Железнорудный концентрат	2,20	2,75	0	0	0	0,200	1,30	T2л
Железорудный концентрат и Ковдорский Оленегорский	2,85	3,15	0	0	0	0,200	1,30	T2л
Заполнители пористые марок:								
500 и 600	0,50	0,60	5	40	30	0,050	1,15	ВЛ2
800	0,70	0,80	5	40	30	0,070	1,15	Л1
1000	0,90	1,00	5	40	30	0,080	1,15	Л2
1200	1,10	1,20	5	40	30	0,100	1,15	C2л
Земля формовочная	0,80	1,30	0	1	0,5	0,100	1,20	C1л
Зерно кукурузы	0,75	0,80	6	10	8	0,040	1,15	Л1
Зерно пшеницы	0,70	0,80	5	8	6	0,036	1,15	Л1
Зерно ячменя	0,65	0,72	5	8	6	0,036	1,15	Л1
Известняк рядовой	1,60	1,80	0	300	60	0,450	1,15	C3; C3т*
Известняк доменный	1,50	1,70	20	150	60	0,330	1,20	C3
Известняк мелкий	1,30	1,60	40	70	50	0,160	1,15	C2
Известь гашеная	1,20	1,60	0	0	0	0,060	1,30	C2л
Известь негашеная	1,10	1,20	50	250	150	0,180	1,20	C2
Калий хлористый мелкокристаллический	1,10	1,26	0	2	0,2	0,065	1,10	C1
Калий хлористый гранулированный	1,10	1,26	1	7	3	0,065	1,10	C1
Каолин	1,05	1,15	0	0	0	0,130	1,25	C1л
Клинкер	1,70	1,85	5	150	30	0,200	1,15	C3
Кокс каменноугольный	0,45	0,50	40	80	60	0,060	1,22	ВЛ2
Кокс нефтяной	0,80	0,85	0	40	20	0,056	1,25	Л2
Колчедан (пирит) рядовой	3,00	3,10	0	300	40	0,300	1,20	T2л; T2*
Колчедан (пирит) сортированный с фракциями:								
10-80	3,00	3,10	10	80	50	0,330	1,15	T2л; T2*
4-10	2,60	2,70	4	10	7	0,240	1,15	T2л
0-8	2,90	3,10	0	8	4	0,290	1,20	T2л
0-4	2,85	2,95	0	4	2	0,280	1,20	T2л

Наименование	Насыпная плотность g, т/м ³		Размеры частиц (кусков), мм			q ₀ , т/м	K _v , не более	Группа
	не менее	не более	наименьшие	наибольшие	средние			
Колчедан (пирит)								
флотационный:								
легкий	1,75	2,00	0	0	0	0,220	1,25	С3л
тяжелый	2,00	2,30	0	0	0	0,230	2,25	Т1л
Лигнит	0,70	0,80	50	300	100	0,400	1,15	Л1; Л1т*
Медно-никелевый концентрат	2,90	3,10	0	0	0	0,230	1,25	Т2л
Металлолом неразделанный легковесный	0,40	1,00	-	-	-	-	-	Л2то
Металлолом неразделанный с преобладанием кусков или пакетированный	1,00	2,00	-	600	-	-	-	С3то
Металлолом разделанный кусковой или брикетированный тяжеловесный	2,00	3,20	-	600	-	-	-	Т2то
Мусор бытовой	-	0,40	-	-	-	-	-	ВЛ1то
Окатыши железнорудные	1,60	2,00	15	25	20	0,200	1,15	С3л; С3*
Пек угольный гранулированный	0,80	1,10	20	40	30	0,090	1,15	С1
Пероксид	2,40	2,60	2	8	5	0,240	1,15	Т2л
Песок сухой легкий	1,40	1,60	0	0	0	0,096	1,15	С2л
Песок сухой тяжелый	1,60	1,80	0	0	0	0,100	1,15	С3л
Песок влажный	1,60	1,90	0	0	0	0,140	1,25	С3
Початки кукурузные (без зерна)	0,20	0,30	30	250	80	0,300	1,15	ВЛ1
Почва сухая	1,02	1,05	0	0	0	0,160	1,30	С1л
порошкообразная								
Почва комковая	1,30	1,60	0	20	2	0,200	1,30	С2
Пробковая стружка	0,15	0,40	5	25	10	0,080	1,30	ВЛ1
Пыль колошниковая	1,25	1,35	0	0	0	0,068	1,25	С2л
Руда железная для агломерации кл. 2, 3, 4, 5, 11, 12, 13	2,40	2,60	0	20	5	0,250	1,30	Т2л
Руда железная для мартеновского производства кл. 21, 22, 26	2,40	2,80	10	250	120	0,380	1,15	Т2т
Руда железная кл. 7 (бурый железняк)	1,60	2,00	0	200	70	0,330	1,20	С3
Руда марганцевая чиатурская:								
1-го сорта	2,25	2,35	0	30	5	0,220	1,15	Т1л
2-го сорта	2,05	2,15	0	30	5	0,220	1,15	Т1л
3-го сорта	1,55	1,65	0	15	2	0,180	1,15	С3л
Руда железная доменная кл. 23, 24, 25	2,20	2,50	10	120	60	0,330	1,15	Т1
Руда марганцовая чиатурская 4-го сорта	1,85	1,95	0	30	10	0,260	1,15	С3л; С3*
Руда медно-никелевая норильская	2,65	2,85	0	100	30	0,220	1,25	Т2
Руда хромитовая донского месторождения:								
ДХ-1	2,50	2,60	50	300	160	0,500	1,15	Т2т
ДХЭ-1, ДХЭ-2, ДХ-2, ДХ-5	2,50	2,70	50	200	60	0,480	1,15	Т2

Наименование	Насыпная плотность g, т/м ³		Размеры частиц (кусков), мм			q ₀ , т/м	K _v , не более	Группа
	не менее	не более	наименьшие	наибольшие	средние			
ДХ-6, ДХЭ-2	2,60	2,70	2	10	6	0,260	1,15	Т2л
Руда хромитовая саранского месторождения	2,50	2,60	0	300	60	0,480	1,15	Т2
Сахар сырец кубинский	0,78	0,85	1	3	2	0,050	1,30	Л2
Свекла	0,60	0,70	80	250	150	0,160	1,15	ВЛ2
Свинцовый концентрат	4,00	4,50	1	25	5	0,320	1,14	ВТ2л
Семя кориандровое	0,25	0,30	2	2	2	0,035	1,15	ВЛ1
Семя подсолнечное	0,40	0,50	5	15	10	0,035	1,15	ВЛ1
Семя чечевичное	0,60	0,70	4	10	8	0,035	1,15	Л1
Сера комовая и гранулированная	1,20	1,40	0	200	70	0,200	1,15	С2
Соль техническая	1,30	1,35	3	20	10	0,170	1,15	С2
Сульфат аммония	0,97	1,10	0	0	0	0,130	1,15	С1л
Сульфат натрия КС	1,26	1,36	0	0	0	0,100	1,00	С2лс
Суперфосфат простой	0,88	1,20	0	0	0	0,063	1,30	С1
Суперфосфат гранулированный	0,9	1,10	1	5	3	0,063	1,30	С1
Уголь арктических месторождений	0,92	0,94	0	200	80	0,090	1,22	Л2
Уголь:								
ГК	0,80	0,90	50	100	60	0,077	1,22	Л2
ГО	0,85	0,95	13	25	20	0,062	1,22	Л2
ДМ	0,94	0,98	25	50	30	0,070	1,22	Л2
ДР	0,94	0,98	0	200	30	0,070	1,30	Л2
К	0,87	0,93	0	100	20	0,050	1,30	Л2
Уголь - отсев разных марок	0,98	1,08	0	2	1	0,050	1,30	С1л
Уголь:								
ПЖ концентрат	0,94	0,96	0	20	10	0,061	1,30	Л2
ПЖ 40	0,84	0,88	40	150	100	0,110	1,15	Л2
Т	0,92	0,97	0	100	20	0,060	1,30	Л2
промпродукт	1,10	1,13	0	0	0	0,068	1,30	С1л
руставский КК	0,70	0,72	0	20	10	0,048	1,30	Л1
силезский «кулак»	0,80	0,90	63	125	100	0,150	1,15	Л2; Л2т*
силезский «горох»	0,83	0,86	8	32	20	0,057	1,15	Л2
«шихта»	0,87	0,93	0	80	20	0,053	1,30	Л2
Ферросплавы	3,00	3,20	100	200	150	0,500	1,15	Т2т
Хромид калия	1,00	1,20	0	0	0	0,080	1,15	С1л
Цемент	1,60	1,80	0	0	0	0,060	1,20	С3лс
Цинковый концентрат	1,90	2,10	0	0	0	0,160	1,30	Т1
Чугун в чушках литейный	2,90	3,20	200	300	250	0,500	1,00	Т2т
перельный	3,00	3,50	300	400	350	-	-	ВТ1т
Шамот	1,78	1,82	4	10	7	0,170	1,15	С3л
Шлак гранулированный	1,25	1,30	1	10	5	0,110	1,15	С2л; С2*
Шлаки металлургические	1,80	2,00	0	600	-	-	1,15	С3т
Шлаки от сжигания мусора бытового	1,00	1,60	0	250	100	0,070	1,20	С2л
Шлаки угольные	0,40	0,70	0	250	100	0,070	1,20	ВЛ2, Л1
Щебень гранитный с фракциями:	1,45	1,55	10	20	15	0,150	0,15	С2л
10-20								
20-40	1,40	1,50	20	40	30	0,240	1,14	С2
40-70	1,40	1,45	40	70	50	0,330	1,15	С2
Щебень сланцевый	1,78	1,82	40	70	50	0,160	1,15	С3
Щебень шлаковый	1,20	1,30	10	20	15	0,080	1,20	С2л; С2*

* Груз перерабатывают краном грузоподъемностью менее 8 т.

П р и м е ч а н и е . Значения указаны для свеженасыпных грузов.

ДОДАТОК 2



Фотореалистическая модель грейфера