

Методичні вказівки до лабораторного практикуму з дисципліни «Механічне обладнання металургійних заводів». Частина II «Обладнання для виробництва металів та сплавів» для студентів спеціальності 7.090218/ Укладачі: Жук А.Я., Коваль М.В., Хімін В.М. – Запоріжжя, 2002. – 76 с.

Укладачі: *канд. техн. наук, проф. Жук А.Я.*  
*канд. техн. наук, доц. Хімін В.М.*  
*Коваль М.В.*

Відповідальний за випуск : *зав.кафедри МОМЗ*  
*проф. Жук А.Я.*

Запорізька державна  
інженерна академія  
**БІБЛІОТЕКА**

8/м

Програмою курсу "Механічне обладнання металургійних заводів" передбачено виконання студентами ряду лабораторних робіт по експериментальному дослідженню окремих видів обладнання основних цехів металургійних підприємств. Праця в лабораторії поглиблює навички застосування теоретичних знань до розрахунків практичних задач, допомагає проникнути в фізичну суть вивчаючих питань, дає можливість освоїти сучасні методи експериментальних досліджень та вимірювальну апаратуру.

Студент допускається до виконання лабораторних робіт тільки після інструктажу по техніці безпеки та успішного тестування за питаннями вхідного контролю знань. Робота зараховується при оформленому звіті та позитивній відповіді на питання вихідного контролю. Звіт повинен мати короткий опис експериментальної установки, відобразити методику виконання експерименту, містити результати теоретичних і експериментальних досліджень, супроводжуватись зарисовкою схем та графіків.

## 1. КОРОТКІ ВІДОМОСТІ ПРО ТАРУВАННЯ ЗУСИЛЬ ТА КРУТНИХ МОМЕНТІВ

Одним серед основних питань при підготовці та проведенні дослідів є тарування реєстрованих параметрів. Методика виконання тарування має бути продумана дуже ретельно, тому що від її якості повністю залежать результати експерименту. Тарування є визначення істинних значень досліджуємо параметрів, записаних на стрічку осцилографа чи само пишучого приладу.

Тарування буває пряме та непряме. Пряме тарування виконується у тому випадку, коли вимірювання параметрів відбувається за допомогою перетворювачів (сило вимірників, мездоз, датчиків тиску і т.п.), які можуть бути зняти і навантажені відомим за величиною зусиллям (прикладання вантажу, дія пресом та підключення до пневматичної чи гідравлічної мережі для датчиків тиску). При цьому міра підсилення підсилювача та параметри реєструючого приладу мають бути такими ж, що і при записі робочих осцилограм. Прямому таруванню можуть підлягати також дослідження деталі механізму з тензомостом, якщо їх можливо тимчасово зняти та навантажити відомим за величиною зусиллям. Навантаження виконується ступінчато. Показання приладу записуються на стрічку осцилографа, утворюючи ступінчасту тарувальну осцилограму (рис. 1). На осцилограмі вимірюються ординати, мм:  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ . За сукупністю значень  $P$  та  $y$  будується тарувальний графік (рис. 2). При вірно налаштованій апаратурі графік має бути лінійним. Масштаб зусиль визначимо так,  $H / \text{мм}$ :

$$m = \frac{P_{T1} + P_{T2} + \dots + P_{TN}}{y_1 + y_2 + \dots + y_n}$$

У випадку не лінійності показань користуватись при обробці осцилограм масштабом не можна, необхідно застосовувати тільки тарувальний графік.

При таруванні сило вимірників, мездоз та деталей за допомогою гідропреси тарувальні зусилля мають бути:

$$P_{T1} = p_1 \cdot F \cdot k$$

$$P_{T2} = p_2 \cdot F \cdot k$$

$$P_{T3} = p_3 \cdot F \cdot k$$

де  $p_1, p_2, \dots, p_n$  - тиск робочої рідини в циліндрі гідропреси, який визначається за манометром, МПа;

$F$  - площа плунжера,  $\text{м}^2$

$k$  - коефіцієнт, який враховує втрати на тертя в ущільненнях гідро циліндра

Визначення масштабу зусиль та побудова тарувального графіка  $P = f(y)$  виконують так, як це викладено вище.

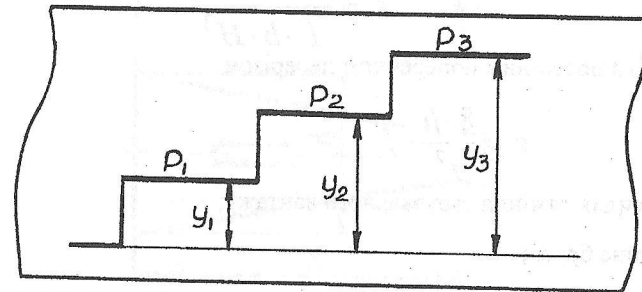


Рис. 1 Тарувальна осцилограма

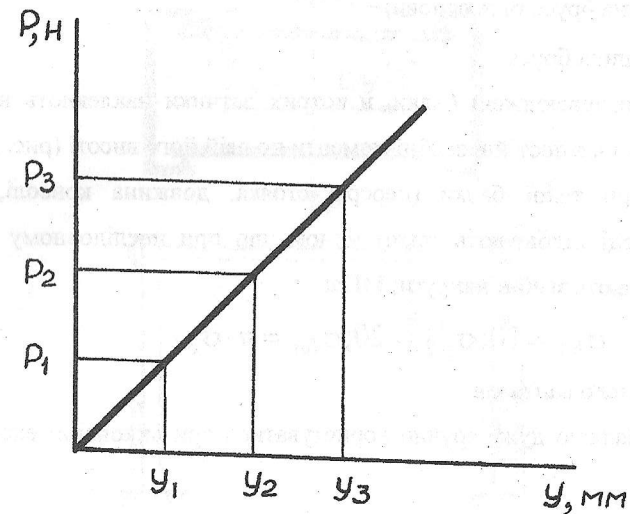


Рис. 2 Тарувальний графік

Прямому таруванню віддається перевага, проте, якщо його не можливо виконати, тарують непрямым шляхом.

Непряме тарування має відбуватись за допомогою тарувальних балок чи спеціальних пристроїв, які мають вигляд невеликого відрізка досліджуємо деталі.

Тарувальні балки бувають, взагалі, трьох видів (рис. 3).

В тарувальній балці (рис. 3, а) використовується брус однакового опору, котрий кріпиться консольно до несучого стояка, а в балці (рис. 3, б) - брус з постійним поперечним перерізом. В обох випадках поверхня балки має постійну відносну деформацію, яка на рівні решітки тензодатчика визначається за формулою:

для бруса рівного опору

$$\varepsilon = \frac{12 \cdot P \cdot l \cdot h}{E \cdot b \cdot H^3}$$

для бруса з постійним поперечним перерізом

$$\varepsilon = \frac{8 \cdot h}{l^2} \cdot f$$

де  $P$  - зусилля тяжіння тарувального вантажу;

$l$  - довжина бруса;

$h$  - відстань від нейтральної осі бруса до решітки тензодатчика;

$b$  - ширина бруса біля основи;

$H$  - товщина бруса

Більш розповсюджені балки, в котрих датчики наклеюють на вертикальний стояк, який зазнає постійні згинні моменти по всій його висоті (рис. 3, а).

Параметри такої балки (переріз стояка, довжина консолі, маса змінних вантажів) іноді підбирають таким чином, що при послідовному навантаженні в стояку виникають згинні напруги, МПа:

$$\sigma_{\delta 1} = 10; \sigma_{\delta 2} = 20; \sigma_{\delta n} = n \cdot \sigma_{\delta 1}$$

де  $n$  - число вантажів

Такою балкою дуже зручно користуватись при виконанні експериментальних досліджень.

При непрямому таруванні датчики балки і досліджуємої деталі мають бути однаковими за омичним опором та базою вибрані із однієї партії і наклеєні одним і тим же способом.

Після запису осцилограми навантажень до підсилювача підключають тарувальну балку, записують тарувальну осцилограму і знаходять тарувальні

зусилля:

$$P_{T1} = \sigma_{\delta 1} \cdot F; P_{T2} = \sigma_{\delta 2} \cdot F; P_{TN} = \sigma_{\delta 1} \cdot n \cdot F$$

де  $P$  - площа поперечного перерізу деталі в місці наклейки дротикових датчиків.

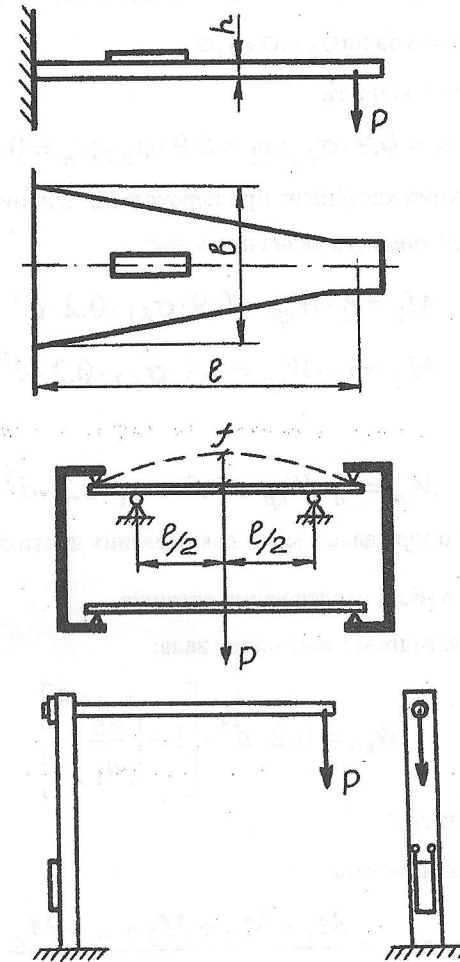


Рис. 3 Різні схеми тарувальних балок

Якщо навантаження сприймають дві деталі, то необхідно у вираз підставити їх загальну площу перерізу  $F$ .

Побудову тарувального графіку  $P = f(y)$  і знаходження масштабу зусиль  $m$  виконують аналогічно тому, як це було при прямому таруванні.

При безпосередньому наклеюванні дротикових датчиків на досліджуємих вал тарування крутних моментів виконують, як правило, непрямим способом, тому що вал механізму неможливо навантажувати тарувальними моментами. Після запису осцилограми крутних моментів досліджуємого механізму до підсилювача підключають тарувальну балку і записують тарувальну осцилограму з ординатами  $Y_1, Y_2, Y_n$  при напрузі в балці  $\sigma_{\delta 1}, \sigma_{\delta 2}, \sigma_{\delta n}$ .

Тарувальні дотичні напруги:

$$r_1 = 0.9 \cdot \sigma_{\delta 1}; r_2 = 0.9 \cdot \sigma_{\delta 2}; r_n = 0.9 \cdot \sigma_{\delta n}$$

де 0,9 - поправочний коефіцієнт при переході від згибних до дотичних напруг

Тарувальні крутні моменти визначають так:

$$M_1 = r_1 \cdot W_{кр} = 0.9 \cdot \sigma_{\delta 1} \cdot 0.2 \cdot d^3$$

$$M_2 = r_2 \cdot W_{кр} = 0.9 \cdot \sigma_{\delta 2} \cdot 0.2 \cdot d^3$$

...

$$M_n = r_n \cdot W_{кр} = 0.9 \cdot \sigma_{\delta n} \cdot 0.2 \cdot d^3$$

де  $W_{кр}$  - момент опору вала в місці наклеювання дротикових датчиків;

$d$  - діаметр вала в місці наклеювання датчиків.

Для порожнистих валів момент опору вала:

$$W_{кр} = 0.2 \cdot d^3 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{d_0}{d_1} \right)^4 \right]$$

де  $d_0$  - діаметр отвору

Масштаб крутних моментів:

$$m_M = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n}$$

Крива моментів на осцилограмі одночасно є кривою змінення дотичних напруг:

$$m_r = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n}$$

Тарування переміщень, швидкостей, прискорень, вібрацій та інших параметрів

виконується таким же чином [1;2]

## 2. ІНСТРУКЦІ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

### Лабораторна робота №1

Дослідження зусиль натягу в канатах скіпового похилого підйомника

#### Мета роботи

1. Знайомство з будовою скіпового підйомника шахтної печі на моделі.
2. Визначення натягу канатів на моделі скіпового підйомника експериментальним та розрахунковим шляхом на похилім мосту і на розвантажувальних кривих. Порівнювання експериментальних та розрахункових даних.
3. Визначення за експериментальними даними коефіцієнта, який враховує тертя в ребордах ходових колес та додаткові опори при перекосах. Аналіз експериментальних даних.

#### Загальні відомості

Серед плавильних агрегатів широке застосування одержали шахтні печі. Вони використовуються на мідеплавильних заводах для плавлення кускових сульфідних руд і на свинцевих заводах для плавлення агломерату і переплавлення бідного штейну та шлікерів; на олов'яних заводах для плавлення шлаків та інших оборотних матеріалів; в чорній металургії для переплавлення агломерату та руди з одержанням чавуну.

Для роботи шахтних печей у багатьох випадках має бути безперебійна подача шихтових матеріалів до завантажувального пристрою, який розташовується на колошнику печі. До машин для подачі шихтових матеріалів пред'являють жорсткі вимоги, тому що затримання з завантаженням матеріалів спричиняє до переведення печі на тихий хід чи її повної зупинки. Тому ці машини повинні мати високу продуктивність, підвищену надійність, можливість автоматизації завантаження.

На діючих печах застосовуються різні системи подачі шихти до завантажувального обладнання: бадьові підйомники похилого та вертикального типів; скіпові похилі підйомники; елеватори; стрічкові транспортери (конвеєрна подача); підвісні вагонетки; вагон-терези; завантаження к'юбелів краном в приймальні кармани колошника та ін. Серед цього обладнання найбільшого

практичного інтересу, як об'єкт дослідження, заслуговують скіпові похилі підйомники. Це обумовлено їх інтенсивною роботою, різкими зміненнями статичних навантажень у процесі роботи, істотними динамічними навантаженнями, можливістю втрат стійкості скіпів і т.п.

Основним елементом скіпових підйомників є скіпова лебідка. Скіпові лебідки бувають одно- та двомоторними, з одним чи двома редукторами. Двоє двигунів використовуються для підвищення надійності лебідки, коли, у випадку виходу із ладу одного з них, роботу продовжують другим.

Лебідки забезпечуються регуляторами швидкості та вимикачами слабину каната. Перші застосовуються для забезпечення виконання заданого графіка швидкості переміщення скіпів, другі - для вимикання двигунів лебідки у випадку виникнення слабину в канаті (при зависанні скіпів на розвантажувальних кривих чи заклинюванні на похилому відрізьку моста).

Двигуни лебідок працюють в повторно-короткочасному режимі. Тому вибираються із умов нагріву і перевантажувальної властивості.

Зусилля натягу в канатах скіпового підйомника при переміщенні скіпа по похилому мосту:

$$S_{H(P)} = (Q + G) \cdot \sin \alpha + (Q + G) \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\mu \cdot d + 2 \cdot k}{D_K} \cdot c$$

де  $Q$  - вага завантаженого в скіп матеріалу, Н;

$G$  - вага скіпа, Н;

$\alpha$  - кут нахилу моста підйомника до горизонталі, град;

$d$  - діаметр цапфи вала ходових колес скіпа, м;

$\mu$  - коефіцієнт тертя ковзання для підшипників скіпа;

$k$  - коефіцієнт тертя кочення, м;

$c$  - коефіцієнт, який враховує тертя реборд ходових колес скіпа об рейки

Для визначення зусиль натягу в канатах скіпового підйомника графоаналітичним методом роблять таким чином. Визначають центр тяжіння матеріалу в скіпу, вважаючи, що його вага рівномірно розподіляється по площі АВВЕКМ (рис. 4). Потім розбирають цю площу на чотири фігури: два трикутника

ABN і BDP, прямокутник PDKM та круговий сегмент DEK.

Визначають площі та координати центрів тяжіння фігур за такими формулами:

для трикутника ABN:

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot e \cdot k; x_1 = x_0 + \frac{2}{3} \cdot e; y_1 = \frac{1}{3} \cdot k;$$

для трикутника BDP:

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot f \cdot (k - 2 \cdot R); x_2 = x_0 + e + \frac{f}{3}; y_2 = \frac{4 \cdot R + k}{3};$$

для прямокутника PDKN:

$$F_3 = 2 \cdot f \cdot R; x_3 = x_0 + e + \frac{f}{2}; y_3 = R;$$

для кругового сегмента DEK:

$$F_4 = \frac{\pi \cdot R^2}{8}; x_4 = x_0 + e + f + \frac{4 \cdot R}{3 \cdot \pi}; y_4 = R$$

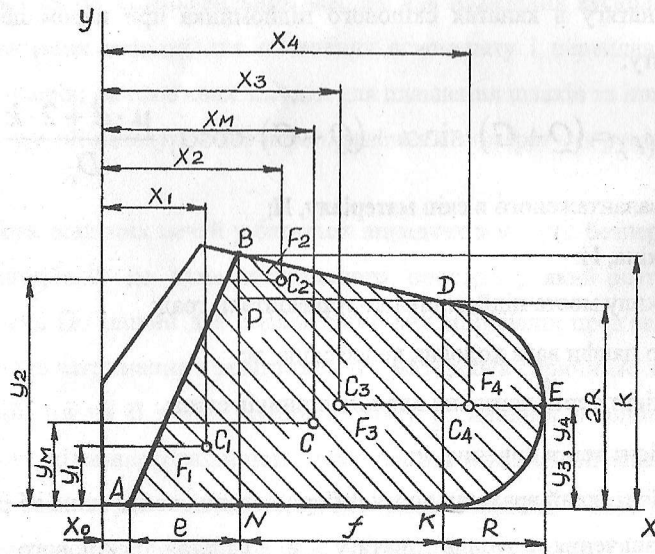


Рис. 4 До визначення центра тяжіння матеріалу в кузові скіпа

Розраховують координати центра тяжіння матеріалу в скіпі за формулами:

$$x_M = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + F_4 \cdot x_4}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}$$

$$y_M = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 + F_4 \cdot y_4}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}$$

Потім визначають координати центра тяжіння порожнього скіпа розрахунковим чи експериментальним методом. Останній полягає в тому, що скіп послідовно підвищують за нитку в двох різних точках *a* і *b*. Одержана точка пересічення напрямку нитки дає шуканий центр тяжіння (рис. 5).

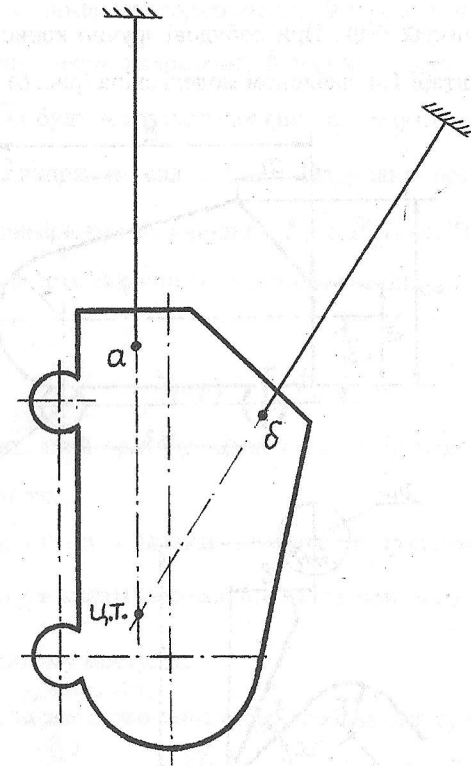


Рис. 5 Визначення центра тяжіння порожнього скіпа

Координати центра тяжіння навантаженого скіпа розраховують за формулами:

$$x_c = \frac{Q \cdot x_M + G \cdot x_{ck}}{Q + G}; y_c = \frac{Q \cdot y_M + G \cdot y_{ck}}{Q + G};$$

де  $Q = F \cdot B \cdot \gamma_M$  - вага матеріалу в скіпі;

$F$  - площа повздовжнього перерізу матеріалу в скіпі;

$B$  - ширина внутрішньої частини скіпа;

$\gamma_M$  - питома вага матеріалу;

$G$  - вага порожнього скіпа;

$x_{ck}, y_{ck}$  - координати центра тяжіння порожнього скіпа.

Далі необхідно побудувати положення навантаженого скіпа на розвантажувальних кривих при його повороті на кут, який має бути менший ніж кут природнього укосу матеріалу  $\Phi$ , тобто кут нахилу скіпа до горизонталі не повинен перевищувати величину  $\alpha + \Phi$ . При побудові зручно користуватись попереднього виготовленим в масштабі 1:4 шаблоном моделі скіпа (рис. 6).

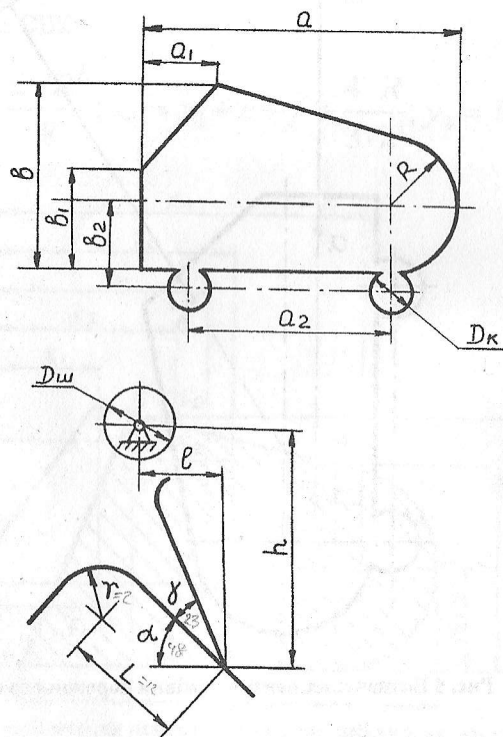


Рис. 6 Основні розміри для побудови

Силу  $T$  від дії ваги навантаженого скіпа, яка має напрямок поздовж каната, можна визначити графічним методом. Опорні реакції  $R_1$  і  $R_2$  без врахування сил тертя направлені нормально до колії в точках дотику ходових колес і проходять через їх осі. Для того, щоб врахувати сили тертя, необхідно реакції повернути в протилежну сторону переміщення скіпа на кут, який визначають за формулою:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\mu \cdot d + 2 \cdot k}{D_k} \cdot c$$

Продовживши напрямки опорних реакцій  $R_1$  і  $R_2$ , одержимо точку  $a$  їх пересічення. Таким же чином знаходять точку  $b$  пересічення напрямків сил  $T$  та  $Q + G$ . Лінія  $ab$  є напрямком рівнодіючої  $R$  опорних реакцій колес. Відкладаємо в масштабі силу  $Q + G$  і будуємо трикутник сил, проводячи через початок та кінець вектора сили  $Q + G$  напрямки сил  $R$  і  $T$ . Одержано реакцію розкладаємо за напрямками  $R_1, R_2$  і вимірюємо величини  $T, R_1$  та  $R_2$  (рис. 7).

Натяг канату для розглядаемого положення скіпа на розвантажувальному шляху буде:

$$S_{p(p)} = T \cdot k_c$$

де  $k_c$  - коефіцієнт, який враховує додатковий опір при переміщенні скіпа оп розвантажувальному шляху.

Визначення коефіцієнта  $c$  можна виконати розрахунково-експериментальні значення зусиль натягу в канаті порожнього скіпа при його русі вгору  $S_{H.B(E)}$  і вниз  $S_{H.H(E)}$  по похилому мосту.

При переміщенні <sup>зруженого</sup> порожнього скіпа вгору зусилля натягу в канатах:

$$S_{H.B(p)} = G \cdot \sin \alpha + G \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\mu \cdot d + 2 \cdot k}{D_k} \cdot c$$

а при переміщенні вниз:

$$S_{H.H(p)} = G \cdot \sin \alpha - G \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\mu \cdot d + 2 \cdot k}{D_k} \cdot c$$

Різниця між величинами зусиль буде:

$$S_{H.B(P)} - S_{H.H(P)} = 2 \cdot G \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\mu \cdot d + 2 \cdot k}{D_k} \cdot c$$

звідки:

$$c = \frac{S_{H.B(P)} - S_{H.H(P)}}{2 \cdot G \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\mu \cdot d + 2 \cdot k}{D_k}}$$

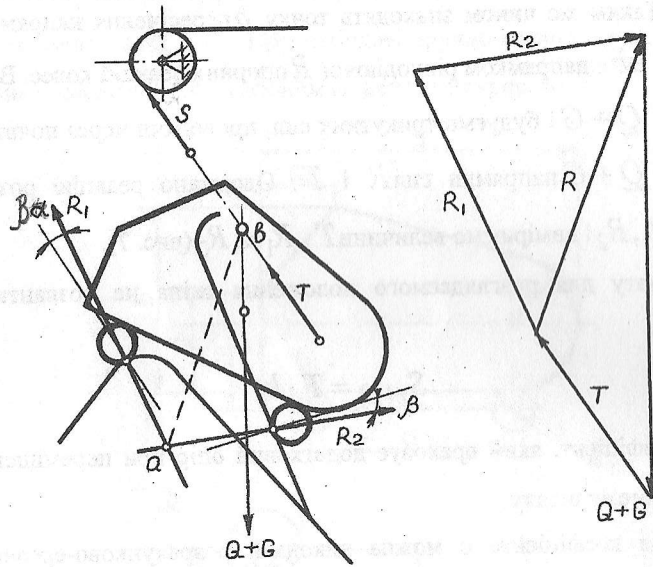


Рис. 7 Схема до визначення зусиль натягу канатів при русі скіпа на розвантажувальних кривих

**Обладнання, прилади, інструменти та матеріали, які необхідні для виконання роботи**

1. Лабораторна установка, яка являє собою модель скіпового похилого підйомника.
2. Тензометричний підсилювач, реєструючі апаратура, терези, гирі, вимірювальний інструмент.
3. Матеріал для завантаження скіпа.

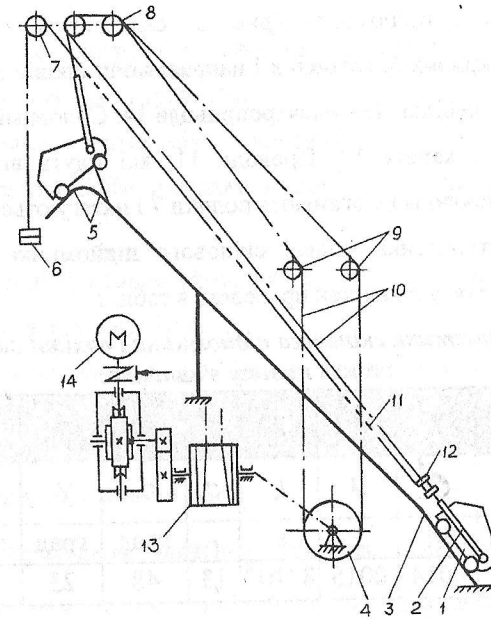


Рис. 8 Схема моделі скіпового підйомника

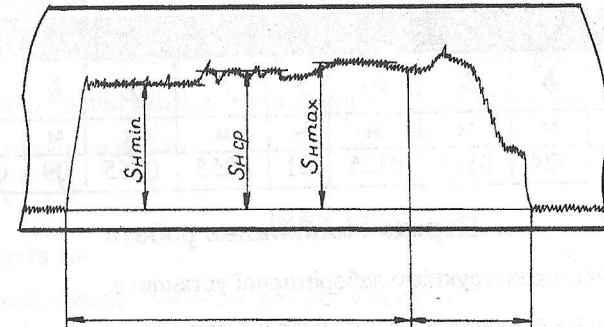


Рис. 9 Приблизна осцилограма канатів при русі скіпа по похилому мосту та розвантажувальній кривій

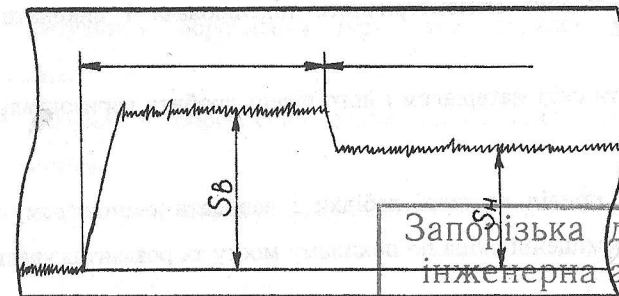


Рис. 10 Осцилограма зусиль натягу каната при русі скіпа вгору по кривій

Запорізька державна інженерна академія  
БІБЛІОТЕКА



Модель скіпового підйомника (рис. 8) складається з похилого моста 3, розвантажувальних кривих 5, головних і направляючі шківів 8 і 9, канатів 10, двох скіпов 1, барабанної лебідки 13 і електропривода 14. Силосимірник 12 прикріплено до упряжі скіпа 2 і каната 10. Проводи 11, які йдуть від силосимірника до тензOMETричного підсилювача, огинають ролики 7 і натягуються тягарем 6.

Технічна характеристика моделі скіпового підйомника і вихідні дані для розрахунків зусиль натягу в канатах приведені в табл. 1.

**Технічна характеристика скіпового підйомника і вихідні дані для розрахунків зусиль натягу в канатах**

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позначення	$G$	$D_K$	$d$	$\mu$	$k$	$c$	$\alpha$	$\gamma$	$\varphi$	$\gamma_M$	$B$
Одиниця	Н	м	М	-	м	-	град	град	град	Н/м <sup>3</sup>	м
значення	71	005	0014	0015	$8 \cdot 10^{-4}$	13	48	23	-	-	0126

**Продовження табл. 1**

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$a$	$a_1$	$a_2$	$b$	$b_1$	$b_2$	$R$	$r$	$L$	$h$	$\ell$	$D_{III}$	$k_c$
м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	-
04	01	021	024	0115	0125	01	0055	0255	09	035	013	1,1

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з конструкцією лабораторної установки.
2. Ознайомитись з правилами техніки безпеки при виконанні роботи.
3. Зібрати вимірювальну схему, установити в залежності від навантаження ступінь підсилювання тензOMETричного підсилювача і виконати балансування силосимірника.
4. Завантажити скіп матеріалом і його рівень зробити горизонтальним. Виміряти відстань  $X_0$ .
5. Увімкнути привід скіпової лебідки і записати осцилограму зусиль натягу канатів при переміщенні скіпа по похилому мосту та розвантажувальній колії (рис.

9).

6. Виконати запис осцилограми зусиль в канатах переміщення порожнього скіпа вгору і вниз по похилому мосту (рис. 10).

7. Виконати пряме тарування силосимірника, послідовно ступінчато навантажуючи його зовнішнім зусиллям за допомогою гир, і записати тарувальну осцилограму.

8. Обробити тарувальну осцилограму, побудувати тарувальний графік і визначити масштаб для зусиль натягу в канатах.

9. Обробити осцилограми зусиль натягу в канатах скіпового підйомника. Визначити зусилля  $S_{H_{\min}(e)}$ ,  $S_{H_{\max}(e)}$ ,  $S_{p(e)}$ ,  $S_{H_{cp}(e)}$  - для навантаженого скіпа і  $S_{HB(e)}$ ,  $S_{HH(e)}$  - для порожнього скіпа.

10. Визначити розрахункові значення ваги завантаженого матеріалу і зусилля натягу в канатах при переміщенні скіпа по похилому мосту  $S_{H(p)}$  та розвантажувальній колії  $S_{p(p)}$ , а також коефіцієнт  $c$ .

11. Порівняти експериментальні та розрахункові значення зусилля натягу в канатах при переміщенні скіпа по похилому мосту і розвантажувальній колії.

12. Оформити звіт по роботі.

### Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Описати конструкцію лабораторної установки.
3. Привести методику та результати розрахунків зусиль натягу в канатах при переміщенні скіпа по похилому мосту і розвантажувальній колії.
4. Привести результати оброблення тарувальної осцилограми. Побудувати тарувальний графік.
5. Привести результати оброблення осцилограми зусиль натягу в канатах скіпового підйомника.
6. Привести порівняльний аналіз розрахункових та експериментальних даних.

Висновки

## Лабораторна робота №2

Дослідження моментів опору обертанню воронки розподільників шихти шахтної печі

### Мета роботи

1. Знайомство з будовою і роботою розподільника з обертовою воронкою
2. Визначення на моделі моментів опору обертанню воронки розподільника шихти двома способами:

- тензометричним за допомогою дротикових датчиків,
- розрахунковим шляхом.

### Загальні відомості

При завантаженні у воронку малого конусу матеріал розташовується в ній, утворюючи односторонній укіс, нерівномірно за товщиною. Поряд з цим, він сортується за розмірами кусків, причому дріб'язок скупчується з боку висипання, а крупні - з протилежного боку. Якщо б матеріал розвантажувався безпосередньо із скіпа на великий конус, то він, опускаючись, завантажував би піч з одного боку дріб'язком, а з протилежного боку крупними кусками, причому рівень засипання дріб'язку перевищував би рівень засипання крупних кусків. Внаслідок цього утворився б неоднаковий опір проходження газів, а це не дало б можливості забезпечити нормальний хід печі.

Тому при нецентральному завантаженні (наприклад, в приймальну воронку із скіпів) виникає необхідність в застосуванні розподільників шихти. Найбільш поширеним є обертовий розподільник, воронка якого обертається по станціям. Він складається з обертової воронки, закритої знизу малим конусом. Після розвантаження матеріалу із кожного скіпа воронка разом з конусом обертається на визначений кут. Частіше застосовують програму зі змінням кута обертання воронки на  $60^\circ$  після кожної подачі скіпа. Обертання на  $240^\circ$  і  $300^\circ$  виконують шляхом повороту воронки в зворотній бік на  $120^\circ$  та  $60^\circ$ .

Для печей з підвищеним тиском на колошнику взагалі застосовують розподільники за сальниковими ущільненнями. Навантаження від надмірного тиску сприймається контррольними роликками. Печі, які працюють на звичайному тиску,

оснащують розподільниками з водяним затвором, а навантаження сприймається опорними роликками.

### Обладнання та інструменти

Модель обертового розподільника шихти шахтної печі, виконана в масштабі 1:10. Принципова схема розподільника приведена на рис. 11. Дротикові датчики наклеєні на проміжний вал (між кутовим та черв'ячним редуктором). Для з'єднання датчиків на обертовому валу з підсилювачем застосовано кільцевий струмознімний пристрій. Мостова вимірювальна схема зібрана з чотирьох робочих (активних) датчиків. Тарування виконують непрямим способом з використанням тарувальної балки та набору важків (гирок).

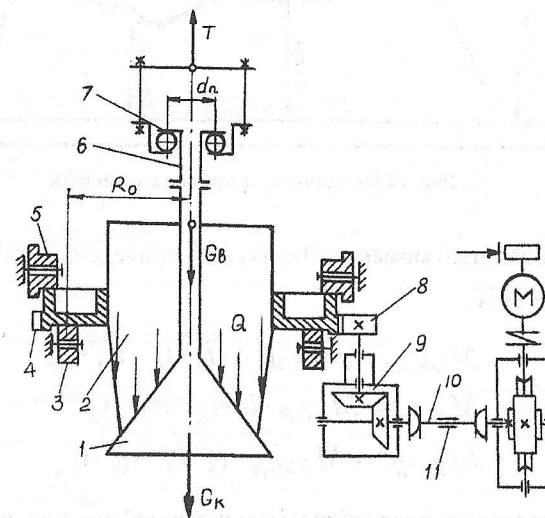


Рис. 11 Схема моделі розподільника шихти: 1 – конус; 2 – воронка; 3, 5 – опорні та контррольні роликки; 4 – зубчатий вінець; 6 – штанга; 7 – підпятник; 8 – шестерня; 9 – редуктор; 10 – вал; 11 – тензодатчики.

### Порядок виконання роботи

1. Підготувати, перевірити та підключити вимірювальну схему до установки.
2. Зважену порцію матеріалу завантажити у воронку обертового розподільника.
3. Підключити привід розподільника шихти і записати крутні моменти при обертанні воронки.
4. Виконати тарування крутних моментів.

### Оброблення експериментальних даних

За тарувальною осцилограмою побудувати тарувальний графік  $M = f(y)$  і розрахувати масштаб крутних моментів  $m_M$ . На осцилограмі крутних моментів вибирають три ординати – максимальну  $M_{e_{max}}$ , середню  $M_{e_{cp}}$  та мінімальну  $M_{e_{min}}$  (рис. 12).

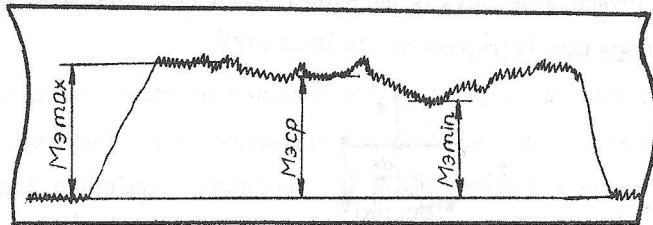


Рис. 12 Осцилограма крутних моментів

Визначити відповідні моменти. Вирахувати приведені до осі обертання воронки моменти за формулами:

$$M_{OMAX} = M_{EMAX} \cdot i_3 \cdot i_K \cdot \eta_3 \cdot \eta_K;$$

$$M_{OCP} = M_{ECP} \cdot i_3 \cdot i_K \cdot \eta_3 \cdot \eta_K;$$

$$M_{OMIN} = M_{EMIN} \cdot i_3 \cdot i_K \cdot \eta_3 \cdot \eta_K$$

де  $i_3, i_K$  - передавальне число відповідно відкритої циліндричної передачі і конічного редуктора (табл. 2);

$\eta_3, \eta_K$  - КПД відповідно відкритої циліндричної передачі і конічного редуктора (табл.2)

Таблиця 2

Вихідні дані до визначення моментів опору обертанню воронки розподільника шихти

№ п/п	Назва параметра	Позначення	Одиниця	Значення
-------	-----------------	------------	---------	----------

1	2	3	4	5
1	Вага воронки разом з опорним кільцем та зубчастим вінцем	$G_B$	Н	81
2	Вага конуса з трубчастою штангою та траверсою	$G_K$	Н	63,5
3	Вага контртягяря балансира	$G_{KT}$	Н	107,5
4	Вага лівого плеча балансира	$G_{Л}$	Н	18
5	Вага правого плеча балансира	$G_{П}$	Н	12
6	Плечі сил для початкового положення балансира (рис 13) при закритому малому конусі	$a$ $b$ $c$ $d$	м м м м	0,052 0,008 0,08 0,15
7	Коефіцієнт тертя в упорному підшипнику штанги малого конуса	$\mu$	-	0,1
8	Діаметр опорного підшипника	$d_y$	м	0,036
9	Діаметр опорного кільця по середині опорних роликів	$D_0$	м	0,285
10	Діаметр опорного ролика	$D$	м	0,03
11	Діаметр цапфи опорного ролика	$d$	м	0,01
12	Коефіцієнт тертя підшипників опорних роликів	$\mu_p$	-	0,015
13	Коефіцієнт тертя кочення	$k$	м	0,0004
14	Передавальне число відкритої зубчатої циліндричної передачі	$i_3$	-	12
15	Передавальне число конічного редуктора	$i_K$	-	1
16	ККД відкритої циліндричної передачі	$\eta_3$	-	0,96
17	ККД конічного редуктора	$\eta_K$	-	0,98
18	Відстань від осі обертання воронки до роликів	$R_0$	м	

Значення коефіцієнта приймається підвищеним внаслідок тяжких умов роботи обладнання та можливої відсутності мастила.

Визначення опору обертанню воронки розподільника розрахунковим шляхом.

Повний розрахунковий момент опору обертанню воронки:

$$M_{O(P)} = M_K + M_B \quad (2.1)$$

де  $M_K$  - момент тертя в упорному підшипнику і штанзі малого конуса, Н\*м;

$M_B$  - момент, необхідний для обертання одної воронки розподільника, Н\*м

$$M_K = P_K \cdot \mu_p \cdot \frac{d_y}{2} \quad (2.2)$$

де  $P_K$  - зусилля в штанзі малого конуса, Н;

$\mu_p, d_y$  - див табл.2;

$$P_K = T - 0.75 \cdot Q - G_K$$

де  $T$  - зусилля в штанзі малого конуса від дії балансира (див рис 13), Н;

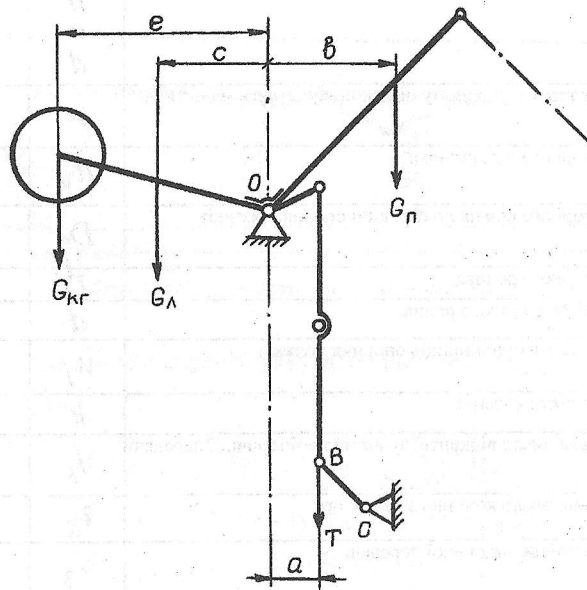


Рис. 13 Схема сил, діючих на балансир.

$$T = \frac{G_{KT} \cdot l + G_L \cdot c - G_{II} \cdot b}{d}$$

(дані для визначення  $T$  див. В табл. 2);

$Q$  - вага матеріалу, завантаженого у воронку, Н;

0.75 - коефіцієнт, показуючий яка частина завантажує мого матеріалу тисне на конус [3];

$G_K$  - див. табл. 2;

$$M_b = P_b \frac{\mu_p \cdot d + 2k}{D} \cdot c \cdot R_0;$$

$P_b$  - зусилля тиску воронки розподільника на опорні ролики, Н;

$$P_b = G_b + 0.25Q - P_K;$$

0.25 - коефіцієнт, показуючий яка частина від ваги завантаженого матеріалу тисне на воронку [3];

$Q$  - вага завантаженого матеріалу, Н;

$C$  - коефіцієнт, враховуючий додаткове тертя в упорних роликах та перекося воронки;

$$C = \frac{M_{o\max} - P_K \cdot \mu \cdot d_y / 2}{P_b (\mu_p \cdot d + 2k) R_0 / D};$$

$M_{o\max}$  - максимальний момент, приведений до осі обертання воронки і визначений експериментально,  $H \cdot m$

Інші дані див. в табл. 2

### Зміст звіту

1. Описати будову розподільника шити і методу визначення моментів опору обертанню воронки експериментальним та розрахунковим шляхом.
2. Порівняти експериментальні та розрахункові дані.
3. Зробити висновки по роботі.

## Лабораторна робота №3

Дослідження тиску матеріалу на конуси та зусилля натягу в канатах балансирів двоконусного завантажувального пристрою шахтної печі.

### Мета роботи

1. Знайомство на моделі з роботою системи управління конусами шахтної печі та конструкцією засипного апарата.
2. Визначення тиску на великий та малий конуси моделі засипного пристрою шахтної печі при витіканні сипучих матеріалів двома способами: експериментальним і розрахунковим.
3. Визначення натягу в канатах балансира великого конуса при опусканні з матеріалом експериментальним та розрахунковим способами.
4. Порівняння експериментальних та розрахункових даних.

### Загальні відомості

Завантажування обладнання шахтних печей має велику різноманітність типів. Особливо це стосується кольорової металургії, де в шахтних печах одержують чорнові метали: свинець, олово, мідь, нікель та інші. Завантажувальні пристрої цих печей можна умовно розділити на одно- та двокамерні. Останні застосовуються у печах, де плавка протікає з виділенням особливо шкідливих газів. При завантаженні шихти в цих печах їх плавильний простір не з'єднується з простором цеху. Це досягається шляхом установаження проміжних затворів, шиберів, заслонок і т.п. До найбільш розповсюджених двокамерних завантажувальних пристроїв відносяться дзвонові та пристрої з навантажувальними карманами, а до однокамерних - пристрої з кришками, які відкриваються під дією шихти.

В чорній металургії, окремо на доменних печах широко використовуються конусні завантажувальні пристрої, які бувають двоконусними, трьохконусними, чотириконусними. Кожний з них складається із розподільника шихти і засипного апарата. У свою чергу останній складається з чаші і великого конуса зі штангою. Місткість засипного апарата вибирається в декілька раз більше місткості воронки розподільника (в 4 - 6 раз). Обов'язковою умовою для нормальної роботи завантажувального пристрою є винятково нарізна робота двох конусів (особливо в

двоконусному пристрої). Управління конусами здійснюється за допомогою балансирних пристроїв, оснащених гідроприводами поступальної дії чи електромеханічними лебідками, які бувають простими (на один конус) і комбінованими (на два конуса). Балансири за конструкцією поділяються на важільні та шківні, але переважно застосовуються важільні. За способом опускання конусів балансирні пристрої поділяються на дві групи: з "вільним" опусканням конусів і з "примусовим" (при розриві зв'язку з приводом конус під дією контртягара піднімається вгору). За типові прийнято важільні балансири з примусовим опусканням конусів. Двигуни лебідок працюють у повторно - короткочасному режимі. На окремих печах установлено безконтактні важільні балансири з управлінням за допомогою гідроциліндрів.

### Обладнання та інструмент

Експериментальні дослідження виконують на моделі засипного пристрою шахтної печі і системи управління конусами, виконаної в 1/10 натуральної величини. Схема моделі системи управління конусами з двобарабанною лебідкою приведена на рис. 14. і складається з таких основних елементів: великого I і малого 2 конусів, системи їх підвісок 5,7, штанг 3,4, балансира великого конуса з двома балками II і контртягарем 9, балансира малого конуса 12 з контртягарями 10, прямильних механізмів 13,14 для кожного балансира, канатів 15,16, пластинчатих ланцюгів 17, 19, двобарабанної лебідки (поз. 20-24).

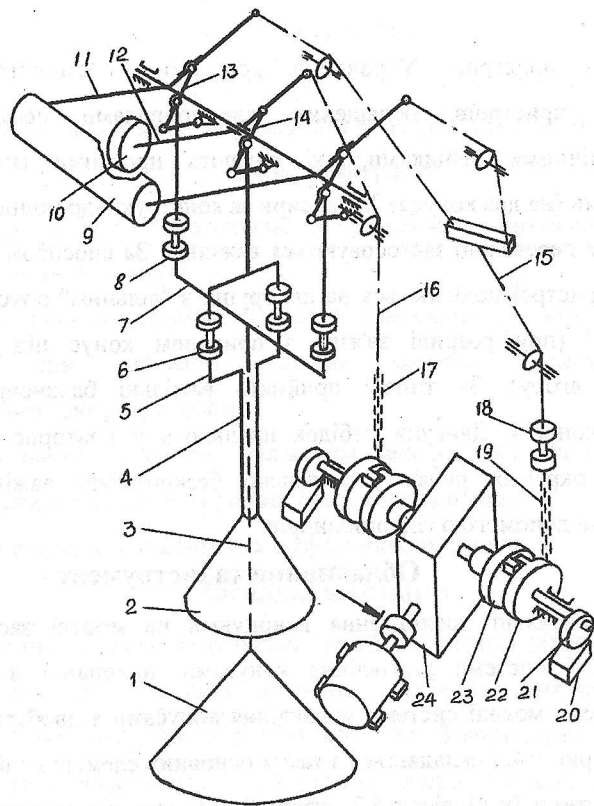


Рис. 14 Схема моделі системи управління конусами з двобарабною лебідкою

### Порядок виконання роботи

1. Підготувати, перевірити і підключити вимірювальну схему до установки.
2. Зважену порцію матеріалу завантажити у воронку малого конуса.
3. Записати осцилограму тиску на малий конус в процесі витікання сипучого матеріалу.
4. Завантажити у воронку великого конуса 3-5 зважених порцій матеріалу.
5. Записати осцилограму тиску на великий конус в процесі витікання сипучого матеріалу.
6. Записати осцилограму змінення натягу в канатах при опусканні великого конуса з матеріалом.
7. Виконати тарування силовимірників непрямым методом, використовуючи

тарувальну балку.

8. Визначити за одержаними осцилограмами: тиск на малий конус перед опусканням  $P_{O(E)}^M$ , максимальний  $P_{MAX(E)}^M$ , та мінімальний  $P_{MIN(E)}^M$  тиск в процесі витікання сипучого матеріалу; аналогічно для великого конуса -  $P_{O(E)}^B, P_{MAX(E)}^B, P_{MIN(E)}^B$ ; натяг канатів в момент від початку опускання великого конуса  $S_{O(E)}$ , мінімальний натяг канатів на початковій стадії опускання конуса, який відповідає максимальному тиску сипучого матеріалу в процесі його витікання  $S_{MIN(E)}$ , зусилля в канаті при кінцевому положенні  $S_K(E)$ .

9. Виконати аналітичні дослідження.

10. Визначити критерії подібності для засипного пристрою шахтної печі при моделюванні витікання сипучих матеріалів. Порівняти експериментальні та розрахункові дані.

### Визначення натягу канатів балансира великого конуса розрахунковим шляхом

Розрахункова схема приведена на рис 15, вихідні дані для розрахунку подано в табл.3

Разглядуємо положення балансира великого конуса відповідає такому, при якому натяг каната на початковій стадії опускання буде мінімальним  $S_{min}$ . При цьому припускаємо, що хід каната буде пропорціональним часу.

Таблиця 3

Вихідні дані

Позначення	Одиниця	Значення
1	2	3
$G_{KT}$	Н	155
$G_L$	Н	36
$G_{II}$	Н	36
$G_K$	Н	169.2
$R_1$	мм	220
$R_2$	мм	365

$R_3$	мм	140
$R_4$	мм	105
$L$	мм	2070
$\Delta l_0$	мм	220
$h_0$	мм	67
$\gamma$	мм	52
$\gamma_{ш}$	мм	60
$\tau_0$	град	105
$\alpha_0$	град	45
$\beta_0$	град	83
$\delta_0$	град	40
$\eta_{\sigma}$	-	0.9
$\eta_{ш}$	-	0.9

Хід каната для даного положення балансира

$$\Delta l(a) = \Delta l_0 \cdot t(a) / t_{on}(\delta)$$

де  $\Delta l_0$  - повний хід каната при переході балансира в кінцеве положення, мм;

$t(a)$  - час за осцилограмою від початку опускання конуса до моменту появи мінімального натягу каната, с;

$t_{on}(\delta)$  - повний час опускання конуса за осцилограмою, с.

Довжина відрізка каната для початкового положення (відстань між точками  $E$  і  $F$ , рис. 15) буде

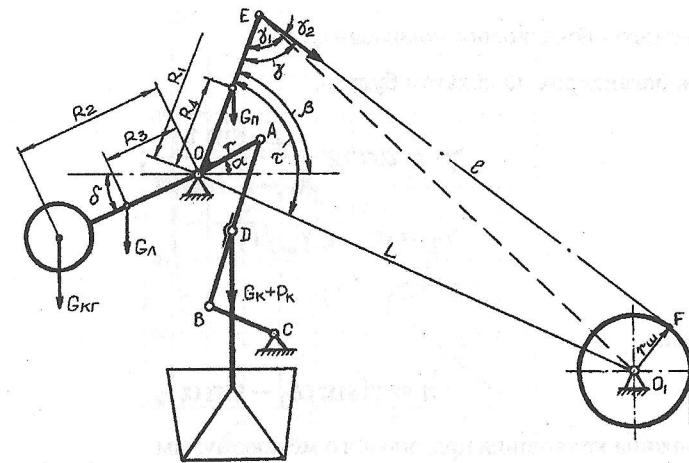


Рис. 15 Розрахункова схема балансира

$$l_0 = \sqrt{R_1^2 + L^2 - \gamma_{ш}^2} - 2R_1 \cdot L \cdot \cos \tau_0,$$

де  $R_1$  - довжина правого плеча балансира, мм;

$L$  - відстань між осями балансира і шківів, мм;

$\gamma_{ш}$  - радіус направляючого шківів, мм;

$\tau_0$  - початковий кут відхилення тягового плеча  $OE$  від лінії центрів  $OO_1$ , град.

Тоді довжина відрізка каната для розглядаемого положення  $l = l_0 + \Delta l(a)$ .

Кут для шуканого розглядаемого положення

$$\tau = \arccos \frac{R_1^2 + L^2 - \gamma_{ш}^2 - l^2}{2R_1L},$$

Кут повороту балансира

$$\Delta \tau = \tau_0 - \tau$$

Кути нахилу плеча балансира до горизонталі будуть:

$$\alpha = \alpha_0 - \Delta \tau;$$

$$\beta = \beta_0 - \Delta \tau;$$

$$\delta = \delta_0 - \Delta \tau,$$

де  $\alpha, \alpha_0$  - кут нахилу кривошипа  $\gamma$  до горизонталі відповідно для розглядаемого і початкового положень, град;

$\beta, \beta_0, \delta, \delta_0$  - кут нахилу правого і лівого плеча балансира відповідно для розглядаємого і початкового положення, град.

Кути між балансиром та канатом будуть:

$$\gamma_1 = \arctg \frac{L \cdot \sin \tau}{R_1 - L \cdot \cos \tau};$$

$$\gamma_2 = \arctg \gamma_{ш} / l;$$

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$$

Хід конуса

$$h \approx \gamma (\sin \alpha_0 - \sin \alpha),$$

де  $\gamma$  - довжина кривошипа прямильного механізму, мм.

Для того, щоб визначити тиск матеріалу на конус, використаємо безрозмірний графік  $P_K = f(h/h_0)$  (рис. 16).

Визначимо величину

$$n = h/h_0,$$

де  $h_0$  - повний хід конуса, мм.

Визначимо за графіком ординату  $m$  точки, яка відповідає одержаному значенню  $n$ , тоді (знаючи вагу матеріалу, завантажуюмого у воронку) тиск на конус буде

$$P_k = m \cdot P$$

Натяг каната  $S$  визначаємо за наближеною формулою

$$S_{\min(p)} = \frac{G_{KT} \cdot R_2 \cdot \cos \delta + G_L \cdot R_3 \cdot \cos \delta - G_{II} \cdot R_H \cdot \cos \beta - (G_K + P_K) \cos \alpha}{R_1 \cdot \sin \gamma \cdot \eta_\delta \cdot \eta_{ш}}$$

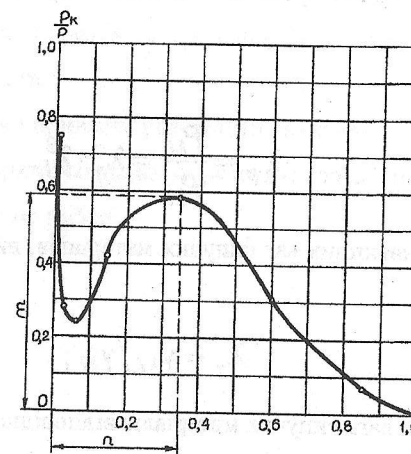


Рис. 16 Безрозмірний графік для визначення тиску матеріала на великий конус(16)

де  $G_{KT}$  - вага контртягаря, Н;

$G_L, G_{II}$  - вага відповідно лівого і правого плеч балансира, Н;

$G_K$  - вага великого конуса разом зі штангою та системою підвіски, Н;

$R_1$  - довжина тягового плеча балансира, мм;

$R_2, R_3, R_4$  - відстань від осі обертання балансира  $O$  до точок прикладання сил

відповідно  $G_{KT}, G_L, G_{II}$ , мм;

$\eta_\delta$  - ККД балансира прямильного механізму;

$\eta_{ш}$  - ККД направляючого шківа.

Визначення критеріїв подібності для засипного пристрою шахтної печі при моделюванні витікання сипучих матеріалів.

При фізичному моделюванні для того, щоб за дослідними даними на моделі можна було достовірно судити про дії, які відбуваються в натурі, необхідно дотриматись критеріїв подібності (масштаби подібності).

Геометричний масштаб подібності

$$\lambda_l = l_M / l_H,$$



де  $l_M, l_H$  - геометричні розміри засипного пристрою відповідно моделі і реальної печі.

Масштаб сил:

$$\lambda_p = \frac{P_M}{P_H} = \lambda_\gamma \cdot \lambda_l^3,$$

де  $\lambda_\gamma$  - масштаб насипних ваг сипучих матеріалів, використовуваних на моделі та натурі;

$$\lambda_\gamma = \gamma_M / \gamma_H;$$

$\gamma_M, \gamma_H$  - насипна вага сипучих матеріалів відповідно на моделі і натурі.

Масштаб часу за умовами моделювання  $\lambda_t = \sqrt{\lambda_p}$ .

Фактичний момент часу

$$\lambda_{t(\phi)} = t_{OP(\phi)} / t_{OP(8)},$$

де  $t_{OP(8)}$  - час опускання великого конуса на моделі, визначений за осцилограмою, с;

$t_{OP(8)}$  - час опускання великого конуса на діючій печі, с;

Відносна різниця масштабу часу, %

$$\delta = \frac{\lambda_t - \lambda_{t(\phi)}}{\lambda_t} \cdot 100.$$

Визначити, якій вазі сипучого матеріалу, завантаженому у воронку великого конуса на моделі, відповідає вага на реальній печі, можливо за формулою

$$G_{o(H)} = G_{o(M)} / \lambda_p,$$

де  $G_{o(M)}, G_{o(H)}$  - вага сипучого матеріалу, завантаженого у воронку великого конуса, відповідно для моделі і натурі.

### Зміст звіту

1. Дати опис принципової будови системи управління конусами лабораторної

установки.

2. Привести методику та результати досліджень тисків на великий та малий конуси засипного апарата.

3. Описати методику і привести результати визначення натягу канатів балансира великого конуса експериментальним та розрахунковим способами.

4. Зробити висновки по роботі.

## Лабораторна робота №4

Дослідження перекидних моментів вертикального конвертора та визначення раціонального положення осі його обертання.

### Мета роботи

1. Знайомство на моделі з будовою конвертора.
2. Визначення перекидних моментів конвертора при різних кутах повороту експериментальним методом на моделі.
3. Визначення раціонального положення осі повороту конвертора за умовами його самоповернення в початкове вертикальне положення.

### Загальні відомості

Процес конвертування використовується як у кольоровій, так і в чорній металургії. В кольоровій металургії застосовують конвертори при одержуванні міді, нікелю, свинцю в результаті реакцій окислення заліза, сірки та інших складових штейну, здійснюємих киснем шляхом вдунання його в розплав. Продуктом для конверторів служить штейн (чорновий метал), який виробляється у відбивних та шахтних печах. В чорній металургії в конверторах одержують сталь шляхом продування чавуна киснем. При цьому частково добавляють металевий брухт.

Конвертори умовно поділяються на горизонтальні та вертикальні. Перші застосовуються виключно в кольоровій металургії, а другі як в кольоровій, так і в чорній. Місткість горизонтальних складає не більше 100т, а вертикальних, застосовуваних для виробництва сталі, - до 400т.

Одною із основних вимог, пред'являємих до цих агрегатів, - можливість їх самоповернення із будь-якого положення за час нахилу при зливанні металу. Якщо ця вимога не буде виконана, то у випадку втрати зв'язку між механізмом повороту і агрегатом можливе його самовільне перекидання, що може викликати дуже тяжкі наслідки. Умову стійкості агрегату буде додержано, якщо його спільний центр тяжіння буде розміщуватись нижче осі обертання. Тому при проектуванні конверторів особливу увагу приділяють розрахунку центра тяжіння і положення осі їх обертання. Є цілий ряд методів розрахунку центра тяжіння: аналітичний метод Кйоніга, графоаналітичні методи Задодчикова, Рохмана, Аксьонова, Аксьонова-

Щіренко, а також графічні методи.

Найбільш важливою частиною конверторів є механізм повороту. Поворот горизонтальних конверторів здійснюється відносно осі їх бочки шляхом перекидування бандажів по балансирним роликкоопорам. Механізм повороту має два приводи: робочий та аварійний, який живиться від окремого джерела електроенергії.

Вертикальні конвертори обертаються відносно цапф, розташованих на підшипниках кочення в опорах. Механізми їх повороту виконуються зі стаціонарними, напівнавісними та навісними приводами з одностороннім і двостороннім розміщенням. Нові вітчизняні конструкції конверторів наділяються тільки навісними багатодвигунними приводами.

### Обладнання та інструмент

Експериментальні дослідження перекидних моментів виконують на половинній моделі конвертора (масштаб 1:10). На рис 17 приведена схема лабораторної установки. Половина корпусу конвертора з прозорою стінкою закріплена на поворотній цапфі 3, на якій також розташовується шків 4 з канатиками 5. На підвіску навішують тягар, який підібрано таким чином, щоб створити на шківу момент, врівноважуючий момент конвертора. Кут повороту конвертора встановлюють за допомогою кутоміра 7. Для виконання лабораторної роботи необхідно мати набір гирок. Модель конвертора заповнюють водою, вагу якої визначають за формулами.

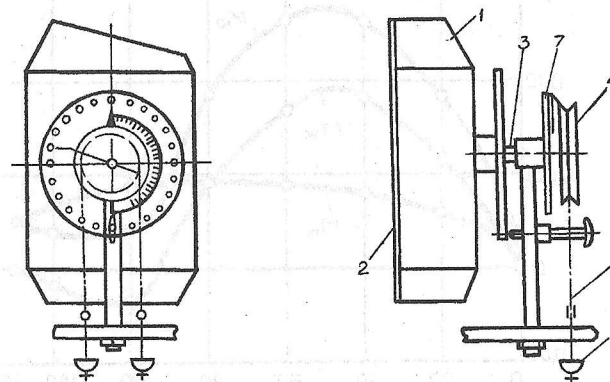


Рис. 17 Схема лабораторної установки для визначення перекидних моментів конвертора

### Порядок виконання роботи

1. Задатись кутами повороту конвертора (порожнього) в діапазоні  $0...180^\circ$  через інтервал  $10^\circ$  і урівноважити його тягарями  $G_i^K$ , які навішують на підвіску шківів. Результати вимірювання занести в табл.4.

2. Залити в конвертор воду вагою  $Q$ .

3. Для вибраних в п.1 положеннях конвертора знайти вагу врівноважуючих тягарів  $G_i$  при повороті конвертора з рідиною. При кожному положенні (після закінчення зливу рідини) визначають вагу рідини, яка залишилась в конверторі. Результати вимірювань занести в табл.4.

4. Знайти повні перекидні моменти від ваги порожнього конвертора  $M_i^K$  і від ваги конвертора з рідиною  $M_0$ .

5. Визначити для заданих положень конвертора перекидні моменти, які створюються рідиною  $M_i^Ж$ .

6. Використовуючи дані табл.4., побудувати графічні залежності перекидних моментів  $M_i^K, M_i, M_i^Ж$  в функції кута повороту конвертора  $\varphi$  (рис 18)

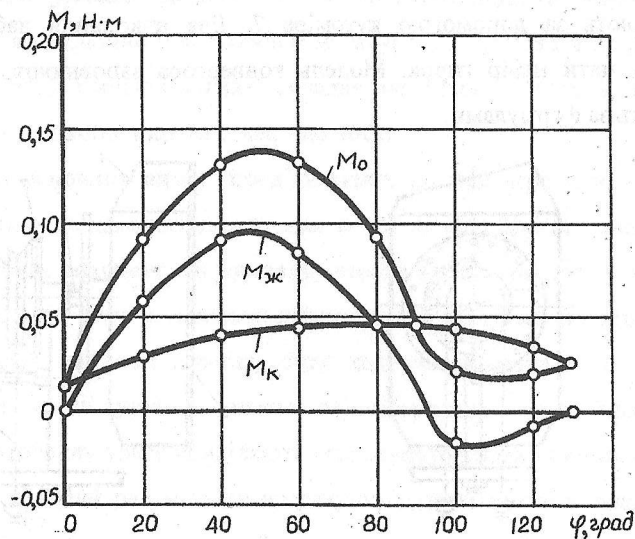


Рис. 18 Приблизний графік перекидних моментів моделі конвертера:

$M_K$  - момент від ваги порожнього конвертера;

$M_{жс}$  - момент від ваги рідини;

$M_0$  - момент від ваги конвертера з рідиною.

7. Вирахувати перекидні моменти  $M_i^H$  від ваги рідкого металу для натурального конвертора місткістю 60 т ( $G_M = 600кН$ ) використовуючи дані, які одержані на моделі. Побудувати графічну залежність  $M_i^H = f(\varphi)$ .

Номер положення конвертора	Кут повороту конвертора $\Phi_i, \text{ град.}$	Вага урівноважувачих тітрів порожнього конвертора $G_i^K, \text{ Н.}$	Вага урівноважувачих тітрів конвертора з вагою $G_i, \text{ Н.}$	Вага води в конверторі $Q_i, \text{ Н.}$	Перекідний момент порожнього конвертора $M_i^K, \text{ Н.}\cdot\text{м.}$	Перекідний момент конвертора з вагою $M_i, \text{ Н.}\cdot\text{м.}$	Момент від ваги води в повній моделі $M_i^{\text{ж}}, \text{ Н.}\cdot\text{м.}$	Момент від ваги води в цій моделі $M_i^M, \text{ Н.}\cdot\text{м.}$	Момент від ваги металу в діючому конверторі $M_i^H, \text{ Н.}\cdot\text{м.}$
----------------------------	---	---	--	--	---	--	---	---	---

Таблиця 4

8. Визначити положення осі обертання за умовами самоповороту.

Знаходження перехідних моментів конвертора експериментальним методом

Визначення ваги рідини для заповнення конвертора.

Вагу рідини вираховувати за умовами фізичного моделювання.

В натуральний кисневий конвертор заливають чавун вагою 600 кН. Об'єм металу в натурі буде

$$V = G_H / \gamma \quad (4.1)$$

де  $\gamma_H$  - питома вага металу зі шлаком:  $\gamma_H = 70 \text{ Н/дм}^3$ .

Об'єм рідини для половинної моделі

$$V_{П.М} = V_H \cdot \lambda_l^3 / 2 \quad (4.2)$$

де  $\lambda_l$  - масштаб лінійних розмірів,

$$\lambda_l = l_M / l_H;$$

$l_M, l_H$  - розмір відповідно моделі та натурі.

Вага рідини, заливаємо в модель

$$Q = V_{П.М} \cdot \gamma_M,$$

де  $\gamma_M$  - питома вага рідини (води) для моделі,

$$\gamma_M = 10 \text{ Н/дм}^3$$

Перехідні моменти для заданих положень конвертора від ваги порожнього конвертора і конвертора з рідиною вираховувати за формулами:

$$M_i^K = G_i^K \cdot R_{ш},$$

$$M_{oi} = G_i \cdot R_{ш}$$

де  $R_{ш}$  - радіус шківів моделі,  $R_{ш} = 0.08 \text{ м.}$

Визначення моменту від ваги металу для діючого конвертора за одержаними дослідними даними.

Перекідний момент від ваги металу в діючому конверторі буде

$$M_i^H = \frac{V_M}{\lambda_l^3} \gamma_H \frac{a_M}{\lambda_l} = \frac{V_M \cdot a_M}{\lambda_l^4} \gamma_H, \quad (4.4)$$

де  $V_M$  - об'єм повної моделі конвертора,  $\text{м}^3$ ;

$a_M$  - відстань від осі обертання конвертора до центра тяжіння на моделі, м.

Подавши момент від ваги рідини в цілій моделі у вигляді

$$M_i^M = V_M \cdot \gamma_M \cdot a_M,$$

одержимо

$$V_M \cdot a_M = M_i^M / \gamma_M \quad (4.5)$$

Після підстановки (4.5) в (4.4) одержимо:

$$M_i^H = \frac{M_i^M \cdot \gamma_H}{\gamma_M \cdot \lambda_i^4} = \frac{M_i^M}{\lambda_i^4 \cdot \lambda_\gamma},$$

де  $\lambda_\gamma$  - масштаб питомих ваг рідин,

$$\lambda_\gamma = \gamma_M / \gamma_H.$$

Визначення положення осі обертання конвертора за умовами забезпечення самоповороту.

Наявність від'ємних перекидних моментів на графіку  $M_i = f(\varphi)$  показує на те, що положення осі обертання вибрано неправильно і умови самоповороту не виконані. Необхідно змістити вісь обертання конвертора так, щоб виключити від'ємно перекидні моменти.

Відстань  $x$ , на якому необхідно змістити вісь обертання конвертора з тим, щоб мінімальний перекидний момент став дорівнювати нулю, визначимо із рівень моментів відносно осі  $O$  (рис.19):

$$x = \frac{Q_M b - G_K \cdot l}{Q_M + G_K}, \quad (4.6)$$

де  $Q_M$  - вага рідини в половинній моделі при куту повороту  $\varphi_M, \text{кН}$ ;

$b$  - відстань від осі  $O$  до точки пересічення осі конвертора і лінії, яка проходить через центр тяжіння рідини, котра перебуває в конверторі при даному куту повороту  $\varphi_M, \text{м}$ .

$$b = a / \cos \alpha_M;$$

$a$  - плече сили  $Q$ , м;

$$a = M_i^{жк} / Q_M;$$

$\alpha_M$  - кут нахилу осі конвертора до горизонталі,

$$\alpha_M = \varphi_M - 90^0;$$

$G_K$  - власна вага конвертора,  $G_K = 54.6 \text{Н}$

$l$  - відстань від осі  $O$  до центра тяжіння конвертора вздовж осі, м,

$$l = c / \cos \alpha_M;$$

$c$  - плече ваги порожнього конвертора, м,

$$c = M_i^K / G_K.$$

Для того, щоб виконана умова самоповороту конвертора під дією позитивного моменту при будь-яких кутах повороту, необхідно вісь обертання  $O_2$  змістити вліво від точки  $O_1$ , тобто прийняти  $x_0 > x$  (рис. 19).

Визначення моменту від ваги металу для діючого конвертора за одержаними дослідними даними.

Перекидний момент від ваги металу в діючому конверторі буде:

### Зміст звіту

1. Описати лабораторну установку, методику та результати визначення перекидних моментів конвертора експериментальним методом на моделі, привести необхідні ілюстрації.
2. Визначити раціональне положення осі обертання конвертора.
3. Зробити висновки по роботі.

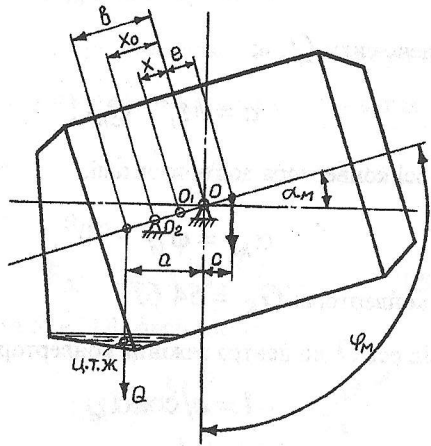


Рис. 19 До визначення положення осі обертання конвертора

### Зміст звіту

1. Описати лабораторну установку, методику та результати визначення перекидних моментів конвертора експериментальним методом на моделі, привести необхідні ілюстрації.
2. Визначити раціональне положення осі обертання конвертора.
3. Зробити висновки по роботі.

## Лабораторна робота №5

Дослідження силових параметрів механізму нахилу дугової електропечі

### Мета роботи

1. Знайомство на моделі з конструкцією і роботою механізму нахилу дугової печі.
2. Визначення навантажень механізму нахилу печі на моделі експериментальним та розрахунковим методами. Зіставлення експериментальних та розрахункових даних.

### Загальні відомості

Електричні печі поділяються на руднотермічні, рудновідновні, рафінувальні та плавильні. Руднотермічні печі застосовуються як в кольоровій (при виробництві кремнію, сілікоалюмінію, нікелю, міді, титанистих та кобальтових шлаків, олова, цинку та ін), так і в чорній (виробництво феросплавів) металургії. За потужністю руднотермічні печі поділяються на печі малої (1,0...2,5МВА), середньої (5...12МВА) і великої (16,5...100МВА) потужності, за технологічною схемою на відкриті (РКО, РПО) та закриті (РКЗ, РПЗ). В залежності від форми ванни (шахти) розпізнають круглі (РКО, РКЗ) та прямокутні (РПО, РПЗ) печі. Руднотермічні печі мають один, два, три, шість та десять електродів. Основними механізмами є механізми переміщення та перепуску електродів, а в печах з обертовою ванною ще і механізм обертання ванни.

Рафінувальні печі кольорової металургії та плавильні печі чорної металургії подібні як за будовою, так і принципом дії. В плавильних печах чорної металургії одержують спеціальні електросталі шляхом переплавлення металевих брухту. Печі одержали наймення дугових електросталеплавильних печей і місткість печей складає від 25 до 200т. Ці печі серед електричних є самими складними, а їх механізми працюють в самих тяжких умовах. До числа основних механізмів печей належать механізми переміщення електродів, підйому та повороту склепіння, нахилу печі.

Механізм переміщення електрода забезпечує самостійний рух кожного електрода вгору та вниз при ручному і автоматичному управлінні. Існують найрізноманітніші конструкції механізмів, однак вони мають такі обов'язкові

елементи, як електродотримач з рукавом, струмопідвід, рухому каретку чи стояк, передаточні ланки, привід. За типом передачі поділяються на канатні, рейкові та гідравлічні. Найбільш перспективними прийнято вважати гідравлічні механізми.

Механізми підйому склепіння виконуються з ланцюговими та важільними передачами, з електромеханічними та гідравлічними приводами. Склепіння піднімають при завантаженні печі та перед поворотом вани, якщо вона виконана обертового.

Механізми повороту склепіння будь – якої конструкції мають напівпортал, який обертається на вертикальній колоні чи платформі (в крупних печах), розташованих на люльці печі, та привод, склепіння підвищується до півпорталу.

Механізм нахилу печей поділяються на дві основні групи: гідравлічні та електромеханічні. Механізм з електроприводом, в свою чергу, поділяються на рейкові, гвинтові та механізми з зубчатим сектором. На крупних печах найбільше розповсюдження одержали рейкові механізми з електроприводом, а на печах середньої місткості – гідравлічні з гідроприводом поступальної дії. Ті та інші мають опорні сегменти, завдяки яким піч при нахилі одержує одночасно обертовий і поступальний рух.

Для вибору потужності привода механізму нахилу електродугової печі необхідно знати зусилля, які діють на зубчаті рейки (у випадку електромеханічного привода). Розрахунковий спосіб визначення зусиль в рейках полягає в знаходженні центра тяжіння печі, визначенні повного перекидного моменту  $M_{\Pi(p)}$  і плеча  $m$  сили  $P_0$ , яка прикладена до рейок механізму нахилу.

Якщо за початок координат прийняти центр опорних сегментів  $O_1$  з радіусом  $R$  (рис. 20), то координати загального центра тяжіння печі можна знайти за формулами:

$$\varrho = \frac{G_L \cdot x_4 + G_{\PiЛ} \cdot x_5 + G_K \cdot x_6 + G_{КС} \cdot x_7 + G_C \cdot x_8}{G_L + G_{\PiЛ} + G_K + G_{КС} + G_C};$$

$$f = \frac{G_L \cdot y_4 + G_{\PiЛ} \cdot y_5 + G_K \cdot y_6 + G_{КС} \cdot y_7 + G_C \cdot y_8}{G_L + G_{\PiЛ} + G_K + G_{КС} + G_C};$$

де  $G_L$  - вага люльки, Н;

$G_{\PiЛ}$  - вага порталу, Н;

$G_K$  - вага корпусу печі, Н;

$G_{КС}$  - вага кільця склепіння, Н;

$G_C$  - вага склепіння, Н;

$x_4, y_4; x_5, y_5; x_6, y_6; x_7, y_7; x_8, y_8$  - координати центра тяжіння відповідно люльки, порталу, корпусу, кільця склепіння і склепіння, м.

Перекидний момент, який створюється масою печі для заданого кута нахилу  $\Phi$

$$M_{\Pi} = G_{\Pi} \cdot \gamma_0 \cdot \sin(\alpha \pm \Phi),$$

де  $G_{\Pi}$  - повне навантаження від маси печі, Н;

$\gamma_0$  - радіус – вектор центра тяжіння печі, м;

$\alpha$  - кут нахилу радіус – вектора до вертикальної осі печі, рад.

Знак “-“ приймається при нахилі печі в бік зливного носика, знак “+” – при нахилі печі в бік робочого вікна.

Величини  $\gamma_0$  та  $\alpha$  визначають за розрахунковою схемою (рис. 20):

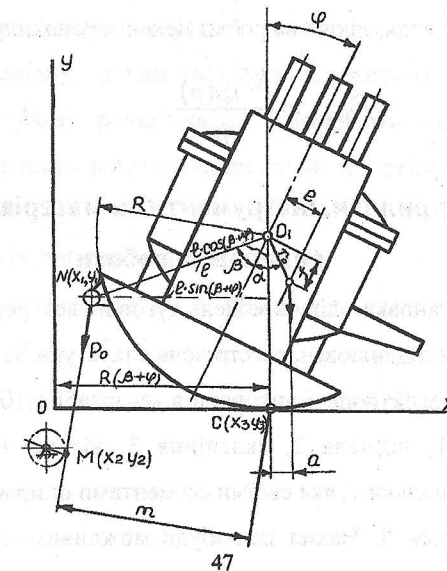


Рис. 20 До визначення зусиль у рейках

$$x_1 = R \cdot (\beta + \varphi) - l \cdot \sin(\beta + \varphi);$$

$$y_1 = R - l \cdot \cos(\beta + \varphi),$$

де  $\beta$  - кут нахилу лінії  $O_1N$  до осі печі, рад (град);

$l$  - відстань від точки кріплення рейок до центра сегментів, м.

Координати  $x_2, y_2$  точки  $M$  дотику рейки з шестернею будуть мало змінюватися і їх можна прийняти постійними. Тоді координати миттєвого центра обертання будуть:

$$x_3 = R \cdot (\beta + \varphi); y_3 = 0.$$

Плече  $m$  можна визначити за формулою аналітичної геометрії як довжину відрізка, який перпендикулярно опущено з точки на пряму (направлення рейки).

Стосовно розглядаемого випадку:

$$m = \frac{A(x_3 - x_1) + y_1}{\sqrt{A^2 + 1}},$$

де коефіцієнт:

$$A = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

Розрахункове зусилля, діюче на рейки механізму нахилу печі,

$$P_{0(p)} = \frac{M_{np(p)}}{m}.$$

### Обладнання, прилади, інструменти та матеріали, необхідні для виконання роботи

1. Лабораторна установка - діюча модель дугової електропечі.
2. Тензометричний підсилювач, реєструюча апаратура, тарувальна балка, гирі.

Модель дугової електропечі виконана в масштабі 1:10 (рис 21) і складається з електродотримачів 1, портала 2, склепіння 3, кільця 4 склепіння, корпусу 5, зливного носика 6 і люльки 7, яка своїми сегментами опирається на дві опорні балки виконуючої платформи 8. Нахил печі буде можливим при повністю всунутій в

портал 2 люльки 7, коли осі всіх опорних сегментів співпадають.

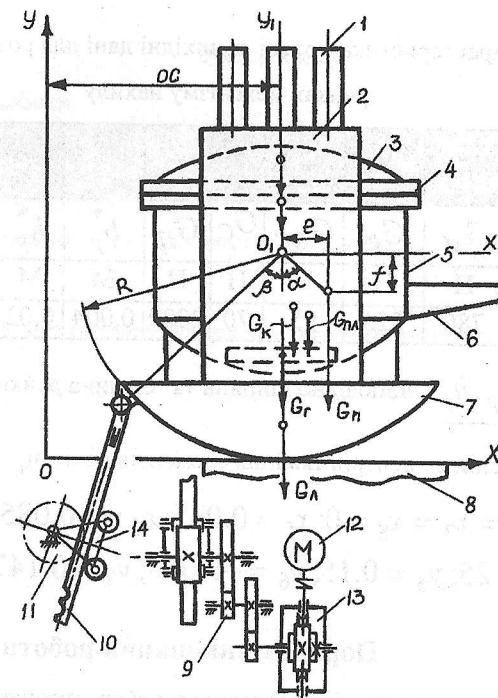


Рис. 21 Принципова і розрахункова схеми печі та механізму нахилу

Привід кожного механізму нахилу складається з електродвигуна 12, черв'ячного редуктора 13, відкритої передачі 9, рухомої шестерні II та зубчатої рейки 10, яка шарнірно з'єднана з порталом.

При роботі механізму люлька та портал одержують як поступальний, так і обертальний рух. Зубчаті рейки також одержують складний рух. Щоб не порушувалась правильність зачеплення шестерні II і рейки 10, установлено хитну обойму 14.

Тензометричні датчики наклеєно на рейку 10.

Технічна характеристика моделі та вихідні дані для розрахунку зусиль в рейках механізму нахилу подано в табл. 5.



Таблиця 5

Технічна характеристика моделі та вихідні дані для розрахунку зусиль в рейках механізму нахилу

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Позначення	$G_L$	$G_M$	$G_K$	$G_{KC}$	$G_C$	$G_{II}$	$b_p^*$	$h_p^*$	$R$	$I$	$b$	$\beta$
Одиниця	Н	Н	Н	Н	Н	Н	М	М	м	М	М	гра
Значення	230	780	825	95	70	2000	0,004	0,02	0,39	0,416	0,14	34

Примітка:  $b_p, h_p$  - відповідно ширина та товщина рейки

Значення координат центрів тяжіння елементів печі,  $M_i$

$$x_4 = x_6 = x_7 = x_8 = 0; x_5 = 0.045; x_2 = -0.085;$$

$$y_4 = -0.25; y_5 = 0.15; y_6 = -0.053; y_7 = 0.147; y_8 = 0.187$$

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з конструкцією моделі дугової електропечі.
2. Ознайомитись з правилами техніки безпеки при виконанні роботи.
3. Зібрати вимірювальну схему, установити в залежності від навантаження ступінь підсилення тензометричного підсилювача та провести балансування вимірювального мосту.
4. Ввімкнути механізм нахилу печі і записати осцилограму зусиль в рейках.
5. Провести непряме тарування вимірювального мосту, записавши тарувальну осцилограму.
6. Для двох чи трьох заданих кутів нахилу печі визначити зусилля  $P_{0(e)}$  в рейках механізму.
7. Значення повних перекидних моментів визначити за формулою:

$$M_{np(e)} = P_{0(e)} \cdot m$$

де  $m$  - плече сили  $P_0$  (визначається розрахунковим шляхом)

8. Визначити для заданих кутів розрахункові значення зусиль в рейках механізму нахилу і порівняти їх з експериментальними даними.

9. Оформити звіт по роботі.

### Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Опис конструкції дугової електропечі.
3. Методика та результати розрахунків зусиль в рейках механізму нахилу печі.
4. Обробка тарувальної та робочої осцилограм, експериментальні дані, тарувальний графік.
5. Порівняльний аналіз розрахункових та експериментальних даних.

Висновки.

## Лабораторна робота №6

Дослідження та визначення оптимального розташування цапф конічного розливного ковша

### Мета роботи

1. Знайомство на моделі з будовою та принципом дії механізмів розливного крана, конструкцією траверси, ковша.
2. Визначити положення центра тяжіння порожнього ковша експериментальним методом.
3. Знаходження місуя розташування цапф конічного ковша з рідиною за умовами стійкості.

### Загальні відомості

Ковші поділяються на три основні групи: транспортувальні, транспортувально - розливні та вакуумні. Транспортувальні ковші призначені тільки для транспортування рідких металів, розплавів та шлаків. Частіш використовуються транспортувально - розливні ковші, якими не тільки транспортують метал від плавильного агрегату, але і розливають метал чи сплав в злитки, чушки, заготовки і т.п. Вакуумні ковші застосовуються при вибиранні металів та розплавів із електролізерів (алюміній, магній, шлами електролізерів і т.п.).

Конструкція ковша та його місткість в багатьох випадках визначаються властивостями металу, об'ємом виробництва, місткістю плавильного агрегату, видом переробки розплаву після зливання його із плавильного агрегату і т.д. Як правило ковші для металів у більшості випадків різні. Якщо для шлаку ковші виготовляються частіше литими і без футерівки, то ковші для металу футеруються зсередини вогнетривами (для усунення пошкоджень стінок ковша і збереження тепла металу).

У виробництві легких кольорових металів використовуються зварні футеровані ковші невеликої місткості (2,5-6 т). Кантування ковша виконують переносним ручним чи механічним штурвалом з квадратним хвостовиком, який входить в квадратну маточину приводної ланки редуктора, змонтованого на ковші.

Ковші для важких металів виготовляються значно більшої місткості. Так, наприклад, місткість ковша для нікелю складає 40 т, сталерозливних - 70, 80, 140,

280, 350 т, чавуновозних до 350 т. Ковші мають зварний кожух, зверху якого закріплюється лите сталеве кільце з ребрами жорсткості. Кільце з двох боків має центрові плити, в які запресовано ковані цапфи. У випадку, коли розливання металу ведеться безпосередньо із ковша (сталерозливного) у виливниці, кристалізатори МНЛЗ, МПНЛЗ, то в її днище вмонтовують стопорні, шибєрні чи поворотні затвори Розливання металів (чавун, нікель, феросплави та ін) в чушки здійснюється у більшості випадків шляхом кантування за допомогою кантувальних пристроїв.

Ковші для шлаку виливають переважно із вуглецевих та хромонікелевих сталей. Це викликано тим, що, хоча чавунне лиття в 1,5-1,8 раз дешевше сталеве, останні відрізняються в 3-3,5 раз більшою стійкістю. Цапфи ковшів виготовляються із поковок і заливаються в тіло ковшів під час їх відливання.

### Обладнання та інструмент

Експерименти ведемо на моделі розливного крана (масштаб 1:10) (рис. 22). Ковш 1 має конічну форму, удержується пластинчатими крюками 2 траверси 3 розливного крана, на мосту 4 якого установлено візок 5. На візку 5 розташовані механізми переміщення візка 6 та механізм підйому траверси 7. Механізм переміщення крана 8 виконано з окремим приводом.

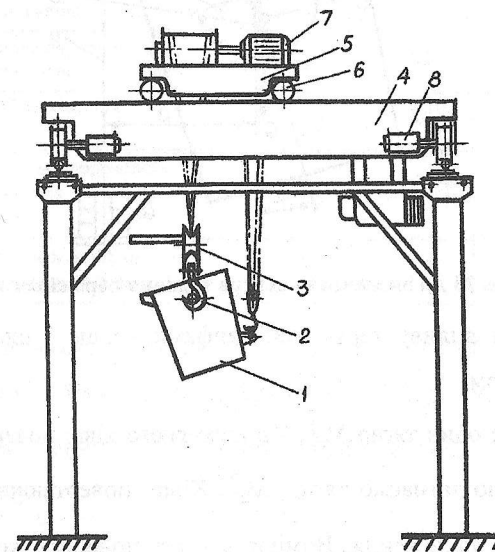


Рис. 22 Лабораторна модель розливного крана

Для виконання лабораторної роботи необхідно мати набір гирок, рулетку, лінійка, штангенциркуль.

### Порядок виконання роботи

Піднімаємо ківш на висоту в 1 м. До носика ковша (рис. 23) обережно, не допускаючи розгойдування, підвішуємо тягар 10 вагою  $Q$ . За допомогою кутоміра 7 вимірюємо кут повороту ковша  $\Phi_1$ . Висок 5 переміщуємо по лінійці 4 до збігу з лінією підвісу тягара 9. За допомогою лінійки 4 визначаємо відстань  $a_1$  від осі цапф до підвісу.

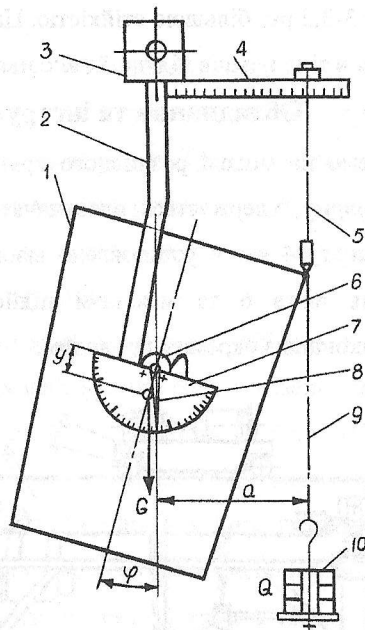


Рис. 23 До визначення центра тяжіння порожнього ковша

Для усунення впливу тертя між цапфами ковша і пластинчастими крюками робимо таким чином.

Навішуємо ще один тягар  $\Delta Q$ , під дією якого ківш повернеться на додатковий кут  $\Delta\Phi$ . Обережно знімаємо тягар  $\Delta Q$ . Ківш, повертаючись назад, не дійде до свого початкового положення. Вимірюємо кут повороту ковша  $\Phi_2$  і плече  $a_2$ .

Експеримент необхідно повторити 2...3 рази. Шляхом важення на терезах визначаємо вагу порожнього ковша. Дані експериментальних досліджень вносимо в табл. 6.

Таблиця 6

### Експериментальні та розрахункові дані

№ п/п	Найменування параметру	Позначення	Одиниця	Значення		
				1	2	3
1	Вага порожнього ковша	$G$	Н	90	90	90
2	Вага тягара (гирки)	$Q$	Н			
3	Кут повороту ковша	$\Phi_1$	град			
4	Відстань від осі цапф до підвіски	$a_1$	М			
5	Вага додаткового тягара	$\Delta Q$	Н			
6	Кут повороту ковша, навантаження тягарем	$\Delta\Phi$	град			
7	Кут повороту ковша після зняття додаткового тягара	$\Phi_2$	град			
8	Відстань від осі цапф до осі підвісок	$a_2$	М			
9	Відстань від осі повороту ковша до центра його тяжіння	$y$	М			
10	Радіус верхньої основи внутрішньої конічної порожнини ковша	$R$	М			
11	Радіус нижньої основи внутрішньої конічної порожнини ковша	$r$	М			
12	Висота внутрішньої порожнини ковша	$H$	М			
13	Відстань від внутрішньої порожнини днища до центра тяжіння порожнього ковша	$h_c$	М			
14	Відстань від внутрішньої поверхні днища до осі цапф ковша моделі	$h_{oe}$	М			

Додатково вимірюють радіуси верхньої  $R$  нижньої  $r$  основ внутрішньої конічної порожнини ковша, висоту внутрішньої порожнини  $H$ , відстань від внутрішньої поверхні днища до осі цапф ковша моделі  $h_{oe}$ . Дані вимірювань заносять до таблиці 6.

## Оброблення експериментальних даних

Складаємо рівняння рівноваги для двох положень ковша і ківш відхилився на кут  $\varphi_1$  під дією тягара  $\Delta Q$ . Рівняння будуть мати вигляд:

$$Q \cdot y \cdot \sin \varphi_1 + M_{TP} = Q \cdot a_1,$$

$$Q \cdot y \cdot \sin \varphi_2 - M_{TP} = Q \cdot a_2,$$

де  $y$  - відстань від осі повороту ковша до центра його тяжіння  $M$ ;

$M_{TP}$  - момент тертя на цапфах ковша

Розв'язуючи систему цих рівнянь відносно  $y$ , одержимо:

$$y = \frac{Q(a_1 + a_2)}{G(\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2)}$$

Виконавши розрахунок для усіх трьох експериментів, знаходимо  $y_{cp}$ .

Визначити на моделі відстань від внутрішньої поверхні днища до центра тяжіння порожнього ковша  $h_c$  з врахуванням  $y_c$ . Зобразити схему ковша (рис. 24) і проставити на ній вимогові розміри.

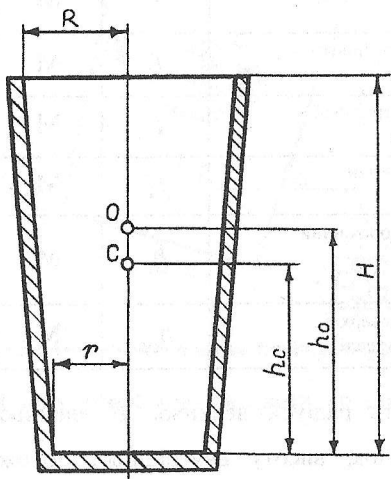


Рис. 24 До визначення положення центра ковша

## Знаходження місця розташування цапф конічного ковша з рідиною за умовами стійкості

Положення цапф за умовами стійкості визначимо за формулою проф. Кйоніга

[3]:

$$h_0 = \frac{G \cdot h_c + \gamma \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left[ R^4 + \frac{H^2 R^3}{R-r} - \frac{H^2 r (R^3 - r^3)}{3(R-r)} \right]}{G + \gamma \frac{\pi}{3} \cdot H - \frac{R^3 - r^3}{R-r}},$$

де  $\gamma$  - питома вага рідини, КН/м Для розрахунків за рідину беремо воду,

$\gamma = 10 \text{ КН} / \text{м}^3$ , решту даних беремо із рис. 24 і табл. 6. Порівняти значення  $h_0$  і  $h_{0(e)}$ , зробити висновки і при необхідності дати рекомендації.

## Зміст звіту

1. Описати методику виконання експериментальних досліджень.
2. Привести необхідні схеми.
3. Виконати розрахунки та привести заповнену таблицю.
4. Зробити висновки по роботі.

## Лабораторна робота № 7

Дослідження перекидних моментів ковша та зусиль натягу в канатах кантувального пристрою розливної машини

### Мета роботи

1. Знайомство на моделі з конструкцією та роботою кантувального пристрою розливної машини.
2. Визначення зусиль в канатах лебідки повороту розливного ковша експериментальним та теоретичним методами. Порівняння експериментальних та розрахункових даних.

### Загальні відомості

Кантувальними пристроями наділяються скоріше стрічкові розливні машини для розливання нікелю, чавуну та феросплавів в чушки, а також окремих видів шлаків.

До кантування пристроїв пред'являються такі вимоги:

- 1) можливість регулювання швидкості кантування ковша в залежності від кута повороту, тобто на початку та кінці кантування для рівномірного зливання металу із ковша його поворот має відбуватися швидше, ніж в середині операції розливання;
- 2) з метою скорочення циклу розливання, швидкість зворотного ходу має перевищувати в декілька раз швидкість кантування ковша з металом під час розливання;
- 3) можливість автоматизації управління роботою механізмів;
- 4) усунення мимовільного кантування ковша в той чи другий бік.

В різних машинах застосовується цілий ряд різноманітних типів кантувальних пристроїв, конструкція яких визначається місткістю ковшів, умовами розливання і властивостями розливаемого продукту. За типом привода пристрої поділяються на електромеханічні та гідравлічні; за типом передачі - на важільні, секторні та канатно - барабанні.

Секторні з електромеханічним приводом застосовуються при розливанні шлаків. Тут ківш вільно цапфами установлюється на секторах кантувача. Сектори з'єднані між собою та підвішені на підшипникових вузлах опорних стояків.

Обертання секторам надається від приводної шестерні.

При розливанні нікелю застосовуються важільні пристрої, які мають вигляд поворотної люльки, з поршневыми гідроциліндрами кантування. Тут також ківш вільно установлюється своїми цапфами в пази люльки. Для забезпечення умов безпеки пази мають відкидні замки.

Розливання чавуну та феросплавів переважно здійснюється пристроями з канатно-барабанними передачами і електромеханічним приводом.

Ці пристрої поділяються на дві групи: пристрої з приводом механізму кантування ковша, який розташовується на вкатному візку, і пристрої зі стаціонарним приводом механізму кантування і не приводним візком. Безпечна робота обох пристроїв вимагає, щоб в процесі кантування постійно підтримувалась вертикальність підйомних канатів. В першому пристрої вертикальність досягається за рахунок примусового переміщення візка з приводом механізму кантування шляхом ввімкнення його механізму переміщення, в другому пристрої - за рахунок автоматичного переміщення не приводного візка в бік кантування ковша при появі слабкості в канатах регульовального поліспасти і натягу в горизонтальній вітці канатів вантажного поліспасти

Для визначення центра тяжіння рідини для задання положень ковша при його кантуванні на лафеті металовозу та стенді біля розливної машини використовують метод Аксьонова [3].

Для цього повний об'єм рідини необхідно розбити не окремі об'єми. Наприклад, об'єм рідини (рис. 25) можна розбити на кульовий сегмент, циліндр і об'єми складної конфігурації ABCD. В свою чергу останній об'єм розбиваємо горизонтальними перетинами на елементарні об'єми 1, 2, 3..., n, які заміняємо сегментами циліндрами. Чим менше висота циліндричного сегмента, тим точніше буде результат обчислювань. Для кожної фігури визначено її об'єм, масу та координати центра тяжіння. При побудові циліндричних сегментів належить по можливості добиватися рівності відсікаємих та додаткових до сегмента об'ємів.

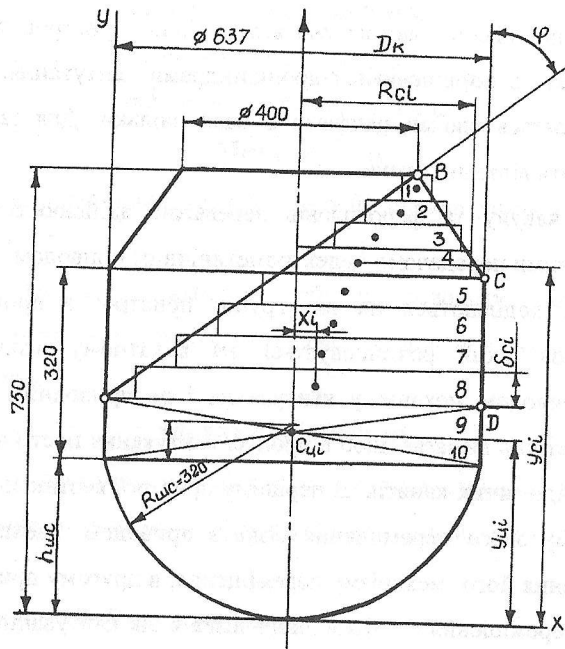


Рис. 25 До знаходження центра тяжіння рідини в ковші

Для сферичного днища:

$$\text{об'єм } V_i = \frac{\pi}{3} (3R_{KC} - h_{KC}) h_{KC}^2;$$

$$\text{вага } Q_i = V_i \cdot \gamma;$$

Координати центра тяжіння

$$x_i = 0; y_i = \frac{h_{KC}}{4(3R_{KC} - h_{KC})} (8R_{KC} - 3h_{KC}),$$

де  $R_{KC}$  - радіус кульового сегмента, м;

$h_{KC}$  - висота кульового сегмента, м;

$\gamma$  - питома вага рідини, Н/м<sup>3</sup>

Для циліндра:

$$\text{об'єм } V_i = 0.785 D_K^2 \cdot \delta_{ц}$$

$$\text{вага } Q_i = V_i \cdot \gamma$$

координати центра тяжіння

$$x_i = 0; y_i = h_{KC} + \delta_{ц}/2,$$

де  $D_K$  - внутрішній діаметр циліндричної частини ковша;

$\delta_{ц}$  - висота циліндра.

Для сегментних циліндрів шукомі величини визначаємо таким чином:

$$\text{об'єм } V_i = F_i \cdot \delta_{ц};$$

$$\text{вага } Q_i = V_i \cdot \gamma$$

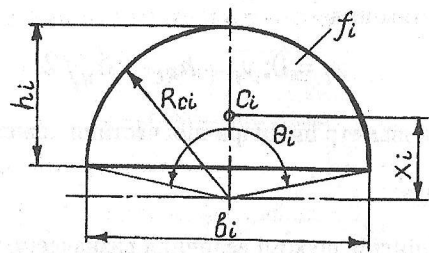
де  $F_i$  - внутрішній діаметр циліндричної частини ковша;

Величину  $F_i$  визначають за таблицею [4].

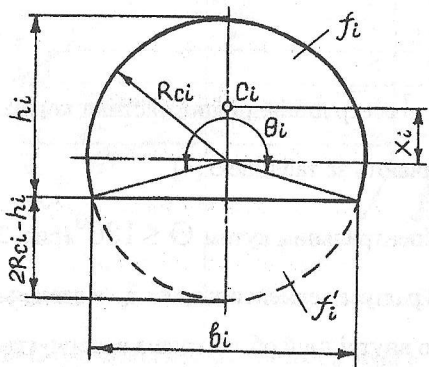
Стрілка сегмента з центральним кутом  $\Theta \leq 180^\circ$  (рис. 26, а) дорівнює  $h_i/R_{ci}$ .

Величини стрілок  $h_i$  та радіуса сегментних циліндрів визначається за кресленням (див. рис. 25). Для цього внутрішній об'єм ковша вичерчується строго в масштабі.

За таблицями знаходять відношення площі сегмента до радіуса -  $f$ .



a



б

Рис. 26 До визначення параметрів циліндричного сегмента

Тоді

$$F_i = f_i \cdot R_{ci}^2$$

Тому таблиці складено тільки для сегментів з центральним кутом  $\Theta \leq 180^\circ$  за таблицями визначають відносну площу додаткового сегмента  $f_i'$  при відносній стрільці, яка дорівнює:

$$(2R_{ci} - h) / R_{ci}$$

Площа сегмента в цьому випадку буде

$$F_i = (\pi - f_i') \cdot R_{ci}^2$$

За таблицями в залежності від величини відносної стрілки знаходимо довжину хорди  $b_i$ . Тоді координати центра тяжіння циліндричного сегмента будуть (при  $\Theta \leq 180^\circ$ ):

$$x_i = \frac{b_i^3}{12f_i}; y_i = h_{KC} + \delta_{ci} + \sum \delta_{ci-1} + \delta_{ci}/2;$$

де  $\delta_{ci-1}, \delta_{ci}$  - висота відповідно для попереднього та розглянутого сегмента.

У випадках, коли  $\Theta > 180^\circ$  і відносна стрілка більше одиниці, знаходимо відносно хорди  $b_i$  додаткового сегмента (рис. 26, б), а координату вирахуємо за формулою:

$$x_i = \frac{(b_i')^3 \cdot R_{ci}}{12(\pi - f_i')},$$

Результати обчислювань зводимо в таку таблицю:

Номер фігури	Об'єм $V_i$	Маса $Q_i$	Абсциса $x_i$	Ордината $y_i$
--------------	-------------	------------	---------------	----------------

Координати центра тяжіння рідини:

$$x_p = \frac{Q_1 x_1 + Q_2 x_2 + \dots + Q_n x_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n};$$

$$y_p = \frac{Q_1 y_1 + Q_2 y_2 + \dots + Q_n y_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}$$

Вага рідини в ковші для даного положення

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

Координати загального центра тяжіння ковша з рідиною:

$$x_c = \frac{Q_p \cdot x_p + G_K \cdot x_K}{Q_p + G_K}; y_c = \frac{Q_p \cdot y_p + G_K \cdot y_K}{Q_p + G_K},$$

де  $x_K, y_K$  - координати центра тяжіння порожнього ковша, м;

$G_K$  - вага ковша, Н.

Перекидні моменти для заданих положень ковша (рис. 27 і 28):

$$M = (Q_p + G_K) \cdot m + (Q_p + G_K) \cdot \mu \cdot \frac{d_y}{2},$$

де  $m$  - плече сили тяжіння ковша з рідиною (визначається графічним шляхом за кресленням), м;

$\mu$  - коефіцієнт тертя ковзання між опорними цапфами ковша та лафетом чи між лапами ковша і цапфами стояків;

$d_y$  - діаметр опорної цапфи чи цапфи контувальних стояків, м.

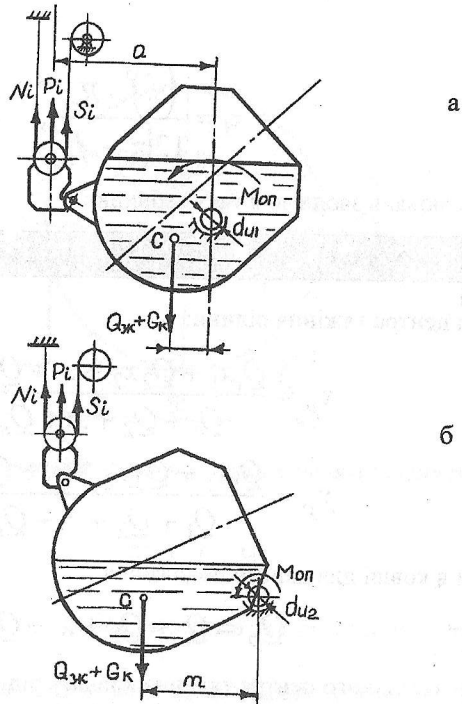


Рис. 27 Розрахункова схема кантувального пристрою

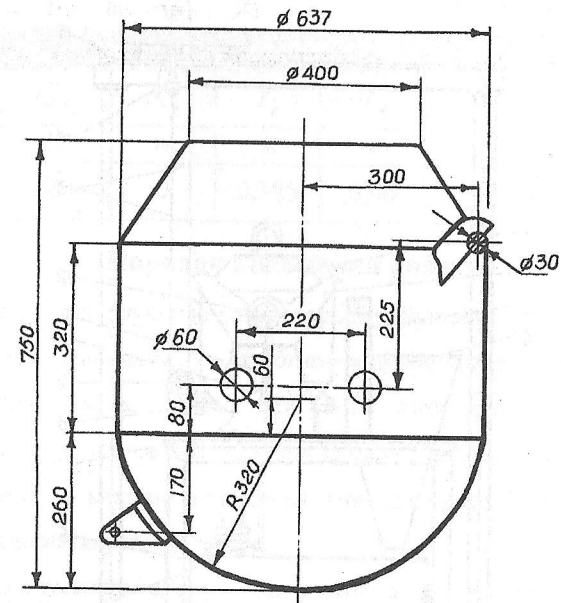


Рис. 28 Основні розміри ковша

Розрахункове зусилля, яке діє на крок контувального пристрою.

$$P_{i(p)} = M/a_i,$$

де  $a_i$  - плече сили  $P_i$  (визначається графічним шляхом за кресленням), м.

**Обладнання, прилади, інструменти та матеріали необхідні для виконання роботи.**

1. Лабораторна установка, яка являє собою модель розливного ковша і лафета металовозного візка.
2. Тензометричний підсилювач, ресструюча апаратура, гирі.
3. Рідина для заповнення ковша (вода).

Лабораторна установка (рис. 29) складається із розливного ковша 1, лафета металовозного візка, кантувальних стояків 3 біля розливної машини, канатів ІЗ, кантувальної лебідки 16, яка розташована на рухомому візку з механізмом переміщення.



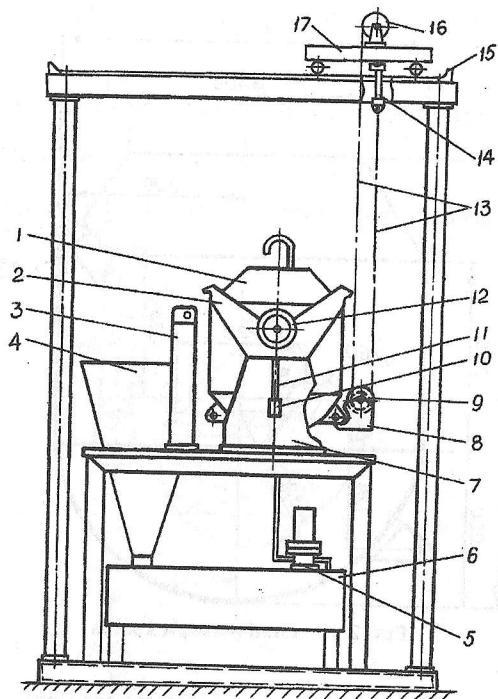


Рис. 29 Схема кантувального пристрою

Візок рухається по рейковому шляху 15. На канатах підвішена блокова підвіска 9 з крюком 8, яким захоплюють сергу ковша. В нерухомому вітку канатів встановлено силосимірювач 14, який кріпиться до зрівняльної траверси візка.

На верхніх цапфах ковша, призначених для транспортування ковша краном, з одного боку кріпиться кутомір, а з другого - реохордний датчик кута переміщення 12. На осі повзунка датчика закріплена штанга II з тягарем 10, що дозволяє реохорду обертатись відносно нерухомого повзунка.

При початковому кантуванні ковша його обертання відбувається відносно лівих нижніх цапф, а потім, коли лапи 2 обіпруться на кантувальні стояки, кантування буде проходити відносно осей пальців стояків.

Вода, яка зливається із ковша при його кантуванні, спрямовується воронкою 4 в резервуар 6. Заливання ковша водою здійснюється насосом 5. Технічна характеристика лабораторної установки приведена в табл.7:

Таблиця 7: Технічна характеристика лабораторної установки

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
Позначення	$G_K$	$X_k$	$Y_k$	$d_{\text{ц}}$	$\mu$	$\gamma$	$\delta$
Одиниця	Н	м	м	м	-	Н/м <sup>3</sup>	-
Значення	62,5	0	0,385	0,06		$\cdot 10^4$	0,98

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з конструкцією лабораторної установки.
2. Ознайомитись з правилами техніки безпеки при виконанні роботи.
3. Ківш нахилити таким чином, щоб його лапи стійко розташувались на кантувальних стояках. Воду залити до рівня зливного носика ковша.
4. Повернути ківш у вихідне положення. При цьому необхідно прослідити щоб канати не відгдували натягу від дії ковша.
5. Зібрати вимірювальну схему, установити в залежності від навантаження ступінь підсилення та провести балансування тензOMETричного підсилювача. Підключити реохордний датчик.
6. Провести кантування ковша і записати осцилограму зусиль натягу в канатах та кута кантування ковша (рис. 30).

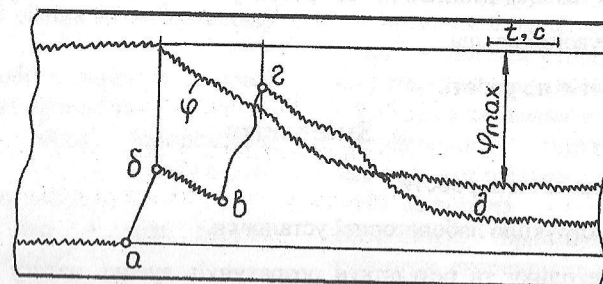


Рис. 30 Осцилограма зміни зусиль натягу в канатах і кута кантування ковша

7. Виконати тарування силосимірювача та датчика кута повороту ковша, побудувати тарувальні графіки і визначити масштаб для зусиль натягу в канатах і кута кантування ковша.

8. Обробити осцилограми, визначивши для заданих положень ковша зусиль  $S_{i(e)}$

у вітці каната, яка набігає на барабан лебідки:

$$S_{i(e)} = \frac{N_{i(e)}}{\eta_{\delta}} = \frac{m_N \cdot y_N}{\eta_{\delta}},$$

де  $N_{i(e)}$  - зусилля, вимірювання силовимірником, Н;

$m_N$  - масштаб зусилля, Н/мм;

$\delta$  - ККД блока;

$y_n$  - відхилення параметра на осцилограмі, мм

Кут нахилу ковша:

$$\varphi_3 = m_{\varphi} \cdot y_{\varphi},$$

де  $m_{\varphi}$  - відхилення параметра на осцилограмі, мм

9. Для заданих положень визначити зусилля  $P_{i(e)}$ , діюче на крок кантувального пристрою у вертикальному напрямку:

$$P_{i(e)} = N_{i(e)} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\eta_{\delta}} \right).$$

10. Порівняйте експериментальні та розрахункові значення зусиль натягу в канатах при кантуванні ковша.

11. Оформити звіт по роботі.

#### Зміст звіту

1. Найменування та мета роботи.
2. Описати конструкцію лабораторної установки.
3. Привести методику та результати розрахунків зусиль натягу в канатах для заданих кутів повороту ковша.
4. Привести результати обробки тарувальної та робочої осцилограм. Описати характерні точки на робочій осцилограмі, тобто, пояснити, що відбувається в даний момент часу в процесі кантування ковша.
5. Виконати порівняльний аналіз розрахункових та експериментальних даних. Привести висновки.

### 3. ЗАПИТАННЯ ДО ВХІДНОГО ТА ВИХІДНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ СТУДЕНТІВ

Запитання вхідного контролю

Запитання вихідного контролю

#### Лабораторна робота №1

1. Будова та принцип дії тензометричного моста з компенсаційними і робочими датчиками.
  2. Методика тарування силовімірників з трубчатими пружинами елементами, які працюють на розтягування.
  3. Способи подавання шихти до шахтної печі.
  4. Класифікація обладнання для подавання шихти на колошник шахтних печей.
  5. Скіпові підйомники вертикальні і похилі. Принципова схема похилого скіпового підйомника.
  6. Скіпові лебідки, їх типи та будова.
  7. Графік швидкості руху скипів. Пояснення різниці значень швидкостей на різних ділянках шляху скипа.
  8. Режим роботи двигунів скіпової лебідки, їх характеристика.
  9. На які види навантажень витрачається потужність електродвигунів лебідки?
  10. Яка відміна є між тертям ковзання та кочення?
  11. Фізичне значення та спосіб визначення кута приробного нахилу матеріалу.
1. Схема моделі скіпового підйомника, її будова та принцип дії.
  2. Методика експериментальних вимірів.
  3. Схема сил, які діють на завантажений скіп, і визначення зусиль натягу в канаті.
  4. Схема сил, які діють на порожній скіп, і визначення зусиль натягу в канаті.
  5. Теоретичний метод визначення центра тяжіння матеріалу в скіпу.
  6. Експериментальний метод визначення центра тяжіння порожнього скіпа.
  7. Схема сил, які діють на скіп при його положенні на розвантажувальних кривих. Які умови мають бути, щоб скіп зміг повернутись з розвантажувальних кривих?
  8. Графічний метод визначення зусиль натягу в канатах скипа, який перебуває на розвантажувальних кривих.
  9. Методика визначення коефіцієнта, враховуючого тертя в ребрах, аналітичним шляхом.
  10. Методика визначення коефіцієнта, враховуючого тертя в ребордах, експериментальним шляхом.
  11. Методика порівняння розрахункових та експериментальних даних.

## Лабораторна робота №2

1. Вимоги до розміщення шихти в шихті печі.
2. Основне призначення розподільників шихти.
3. Типи розподільників шихти.
4. Принципова схема типового розподільника шихти з обертовою воронкою.
5. Призначення та будова кутового редуктора.
6. Призначення опорних, контропорних та центральних роликів.
7. Перелік станцій спрацювання розподільника. Контроль та управління роботою розподільника.
8. Методика тарування крутних моментів.
9. Будова та з'єднання тензометричного моста при вимірюванні крутних моментів.
10. Кут закручення вала, його визначення.
1. Схема моделі розподільника шихти, її будова та принцип дії.
2. Схема сил, діючих на розподільник.
3. Методика експериментальних вимірів моментів опору обертанню воронки розподільника та оброблення результатів досліджень.
4. Чим викликано врахування трьох ординат моментів на робочій осцилограмі?
5. Зусилля в штанзі малого конуса.
6. Зусилля, діюче з боку балансирного пристрою на стану малого конуса.
7. Момент – від сил тертя в упорному підшипнику.
8. Тиск в опорних роликах.
9. Момент опору обертанню воронки розподільника.
10. Методика порівняння розрахункових та експериментальних даних.
11. Коефіцієнт, який враховує тертя в опорних роликах та додатковий опір при перекосах в опорно – поворотній частині розподільника.

## Лабораторна робота №3

1. Способи завантаження шихти в шахтні печі.
2. Завантажувальні пристрої шахтних печей, їх класифікація.
3. Будова типового двоконусного завантажувального пристрою.
4. Призначення та принцип дії балансирих пристроїв.
5. Лебідки для управління конусами.
6. Будова комбінованої лебідки та принцип її дії.
7. Яке призначення противаги?
8. На які види навантаження та опору витрачається потужність двигуна лебідки?
1. Схема моделі системи управління конусами.
2. Методика експериментальних вимірювань тиску на конусі.
3. Методика експериментальних вимірювань зусиль натягу в канатах балансирного пристрою.
4. Пояснення характеру змінення зусиль на осцилограмі.
5. Схема сил, які діють на балансир.
6. Методика визначення зусиль натягу в канатах розрахунковим шляхом?
7. Як визначається величина ходу конуса?

лебідки?

9. В чому полягають переваги та недоліки черв'ячної передачі.
10. Чи є залежність між діаметрами шківів та каната? Якщо є, то яка?
11. Які позитивні та негативні аспекти використання для управління конусами гідроприводу поступального руху?

8. Безрозмірний графік для визначення тиску матеріалу на конус.
9. Визначення тиску матеріалу на конус за допомогою безмірного графіка.
10. Визначення зусилля натягу в канаті.
11. Критерії подібності для засипного пристрою, їх призначення та фізична суть.
12. Методика порівняння розрахункових та експериментальних даних.

## Лабораторна робота №4

1. Область застосування та призначення конверторів.
2. Класифікація конверторів за формою та типом привода.
3. Характеристика стаціонарних, півнавісних та навісних приводів.
4. Режими роботи двигунів механізму обертання конвертора.
5. Вимоги до розташування осі обертання конвертора.
6. Класифікація методів визначення центрів тяжіння.
7. Суть графоаналітичних методів визначення центрів тяжіння.
8. Суть графоаналітичних методів визначення центрів тяжіння.
9. На які види навантаження витрачує потужність двигуна.
10. Схема розташування зубчатого зачеплення в навісному приводі.
11. Основні параметри зубчатого зачеплення.
12. Як визначається між осьова відстань зачеплення?
13. Як здійснюється розрахунок зуб'їв на міцність?
1. Схема лабораторної установки для визначення перекидних моментів конвертора.
2. Методика експериментального дослідження перекидних моментів конвертора.
3. Обґрунтування прийняття, половинчатої моделі конвертора як об'єкта дослідження.
4. Міркування відносно застосування при дослідженнях тензометрії.
5. Як визначається необхідний об'єм та маса рідини для наповнення моделі?
6. Момент від ваги металу в дійсному конверторі.
7. При близні графіки перекидних моментів конвертора, їх характеристика.
8. Міркування щодо вирівнювання значень перекидних моментів шляхом фізичної дії на привод.
9. Методика визначення положення осі обертання конвертора за умовою забезпечення самоповороту.
10. Розрахункова схема до визначення положення осі конвертора.
11. Визначення відстані, на яку необхідно змістити вісь обертання моделі, щоб дотримувалась умова самоповороту.
12. Пропозиції стовню удосконалення лабораторної установки.

## Лабораторна робота №5

1. Класифікація електричних печей, область їх застосування та призначення.

2. Схема типової дугової електропечі.

3. Типи механізмів підняття та отводу електрики. *експериментальних*

4. Типи механізмів переміщення електродів.

5. Типи механізмів нахилу електропечей.

6. Аналіз механізмів нахилу з врахуванням переваг та недоліків кожного.

7. Особливості розрахунку рейкових передач.

8. Рейкові коробки, їх будова та призначення.

9. Характеристика напруг, які виникають в рейках.

10. На які види навантаження витрачається потужність двигунів механізму нахилу?

11. Суть тертя кочення. Які фактори впливають на величину сил тертя кочення?

12. Як вибираються параметри рейкової передачі?

13. Різниця в методиці розрахунків відкритих і закритих зубчатих передач.

14. Чим викликана та обставина, що корпус черв'ячного редуктора, як правило, виконується з ребрами?

1. Схема лабораторної установки.

2. Методика експериментальних досліджень.

3. Характеристика осцилограми та її тарування.

4. Місцеположення умовної осі обертання печі, розташування загального центра тяжіння та методика його визначення.

5. Схема сил, які діють на піч та механізм нахилу.

6. Визначення радіуса – вектора та цього характеристика.

7. Момент від ваги печі, пояснення знаків моменту (“+” чи “-“).

8. Формула Герца та визначення коефіцієнта тертя кочення.

9. Характеристика параметрів, впливаючих на значення коефіцієнта тертя кочення.

10. Характеристика траєкторії руху точок, розташованих на поверхні опорних сегментів.

11. Координати розташування характерних точок механізму нахилу печі (M, N, C).

12. Умови нанесення початку координатних осей при вихідному положенні печі.

13. Визначення плеча сил, виникаючих в рейках.

14. Зіставлення значень моментів, які одержано експериментальним та розрахунковим методами.

## Лабораторна робота №6

1. Призначення та область застосування ковшів.

2. Класифікація ковшів.

3. Будова ковша для транспортування м'яких металів.

4. Будова ковша зі стопорним пристроєм.

1. Схема експериментальної установки.

2. Методика визначення центра тяжіння ковша експериментальним шляхом.

3. Умови рівноваги при прикладанні додаткового вантажу.

пристроєм.

5. Будова вакуумного ковша для вибирання алюмінію із електролізу.

6. Будова ковша для шлаку.

7. Способи виконання цапф та вимоги до них.

8. Від чого залежить місткість ковша?

9. Методи визначення центрів тяжіння емкостей з металом, їх характеристика.

10. Яка залежність значення перекидна моменту від кута повороту?

11. Як визначає момент від сил тертя в опорних цапфах.

12. Кратність поліспасти.

додаткового вантажу.

4. Умови рівноваги при знятті додаткової вантажу.

5. Координати центра тяжіння.

6. Схема до розрахунку положення цапф ковша.

7. Аналіз формули проф. Кйоніга.

8. Як впливає форма ковша (конічна, циліндрична, грушевидна) на характер змінення значень перекидного моменту в залежності від кута нахилу?

9. Яка кратність поліспадної системи моделі розливного крана?

10. Основні конструктивні відміни розливного крана від звичайних мостових кранів?

11. Яким чином враховуються сили тяжіння в механізмі підйому при руховому та загальному режимах.

12. Як визначається зусилля опору руху кранового візка?

## Лабораторна робота №7

1. Призначення та область застосування кантувальних пристроїв розливних машин.

2. Класифікація кантувальних пристроїв.

3. Принципова схема кантувального пристрою з вантажним та регульовальним поліспасти.

4. Принципова схема гідравлічного кантувального пристрою.

5. Яку роль відіграють рухомі та нерухомі блоки поліспадної системи.

6. Із яких міркувань і на якому ґрунті говорять про виграши в силі та програм в переміщенні (чи навпаки)?

7. Чи є залежність між розмірами канатів та блоків?

8. Як вибираються сталеві канати?

9. Розташування та призначення кантувальних ступів.

10. Яка методика визначення траєкторії руху характерних точок (осей блоків, зіву крюка) кантувального

1. принципова схема моделі кантувального пристрою.

2. Методика експериментальних вимірювань зусиль натягу в канатах.

3. Характеристика та тарування робочої осцилограми.

4. Методика визначення центра тяжіння ковша.

5. Які особливості враховуються при нанесенні лінії поверхні металу для тих кутів кантування, при яких ще не зливається метал(вода)?

6. Які умови мають бути дотриманні при розбиванні об'єму металу на окремі об'єми?

7. Ваша думка про можливість застосування ЕОМ для визначення загального центра тяжіння.

8. Як визначається об'єм циліндричних моментів ковша.

9. Схема циліндричних сегментів та їх характеристика.

блоків, зіву крюка) кантувального пристрою з вантажним та регульованим поліспастиами?

11. Чим викликаний потяг до близького розташування опорних лап від зливного носика?

12. Від чого залежить площа гідроциліндра?

13. Як визначається швидкість руху штока гідроциліндра?

14. Які напруги виникають в стінках гідроциліндра?

15. Чи є залежність між товщиною стінки циліндра і діаметром, якщо так, то яка?

10. Схема до розрахунку перехідних моментів ковша.

11. Формула для визначення перекидного моменту ковша.

12. Визначення коефіцієнта Стьюдента та його характеристика.

13. Визначення довірчого інтервалу.

14. Порівняння експериментальних та розрахункових даних. В чому полягає погрішність результатів, які одержано розрахунковим шляхом?

## Література

1. Аппаратура для производства экспериментальных исследований: Методические указания по научно – исследовательской работе студентов «Основы инженерного эксперимента» /Сост.: А.И. Сапко, А.Я. Жук. – Запорожье: ЗИИ, 1983. – Ч.1. – 60 с.

2. Методы и средства экспериментальных исследований силовых, кинематических и динамических параметров металлургических машин: Методические указания по научно – исследовательской работе студентов “Основы инженерного эксперимента” / сост.: А.И. Сапко, А.Я. Жук. – Запорожье: ЗИИ, 1983. – Ч.2. – 48 с.

3. Методические указания к лабораторному практикуму “Оборудование для производства металлов и сплавов” по дисциплине “Механическое оборудование металлургических заводов” для студентов специальностей 0572, 0573 и 1703/ сост. а.Я. Жук, Н.В. Коваль, И.Ю. Кутина. – Запорожье: ЗИИ, 1989. – 92 с.

4. Техника эксперимента и основы научных исследований металлургических машин и агрегатов: Учебн. пособие / В.К. Цапко, Г.И. Толстикова, В.А. Ермократьев, А.Я. Жук. – К.: УМК ВО, 1989. – 140 с.

5. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. – Т.1. Машины и агрегаты доменных цехов. Учебник для вузов / А.И. Целиков, П.П. Полухин, В.М. Гребеник и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1987. – 440 с.

6. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. – т.2. Машины и агрегаты сталеплавильных цехов: Учебник для вузов / А.И. Целиков, П.М. Полухин, В.М. Гребеник и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.

7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., Справочник по математике. М.: Наука, 1967. – 340 с.

## Зміст

1. Короткі відомості про тарування зусиль та крутних моментів .....	4
2. Інструкції та методичні вказівки до лабораторних робіт .....	10
Лабораторна робота №1. Дослідження зусиль натягу в канатах скіпового похилого підйомника .....	10
Лабораторна робота №2. Дослідження моментів опору обертанню воронки розподільників шихти шахтної печі .....	20
Лабораторна робота №3. Дослідження тиску матеріалу на конуси та зусилля натягу в канатах балансірів двоконусного завантажувального пристрою шахтної печі .....	26
Лабораторна робота №4. Дослідження перекидних моментів вертикального конвертора та визначення раціонального положення осі його обертання .....	36
Лабораторна робота №5. Дослідження силових параметрів механізму нахилу дугової електропечі .....	45
Лабораторна робота №6. Дослідження та визначення оптимального розташування цапф конічного розливного ковша .....	52
Лабораторна робота №7. Дослідження перехідних моментів ковша та зусиль натягу в канатах кантувального пристрою розливної машини .....	58
3. Запитання до вхідного та вихідного контролю знань студентів .....	69
Список літератури .....	75