

Запорізька державна інженерна академія
Металургійний факультет. Кафедра Металургійного обладнання
Спеціальність «Металургійне обладнання» 8.05050311

Затверджую:
Завідувач кафедри Г.П. Малишев
“ _____ ” _____ 2015 р.

Завдання

на кваліфікаційну роботу магістра

Чорнобука Артема Миколайовича

1. Тема роботи: «Дослідження та удосконалення механізмів сталерозливного крану 125т» затверджена наказом по академії від 19.05.2015 року № 277-01
Керівник проекту (роботи) Васильченко Т.О
2. Термін здачі закінченої роботи 30 грудня 2015 р.
3. Вихідні дані до проекту техніко-економічні показники роботи мартенівського цеху ПАО МК «Запоріжстальсталь»”.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): Вступ; 1. Технологічна частина; 2. Дослідницька частина; 3. Прикладна частина; 4. Електрична частина; 5. Організаційна частина; 6. Техніко-економічне обґрунтування. 7. Охорона праці та техногенна безпека.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 1.Общий вид кран мостовий ливарний А2х3; 2. кран мостовий ливарний А2х3; 3. Візок головного підйому А0; 4.Заміна електродвигунів і гальм А1; 5.Механізм пересування головного візка А2х3; 6. Механізм пересування крану А2х3 ; 7. Електрична частина – 1 А1; 8. Охорона праці та техногенна безпека 1 А1. Разом 11 аркушів формату А – 1.

6. Консультанти з проекту із зазначенням розділів проекту, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	доц. Васильченко.Т.О.		
2	проф. Малишев Г.П.		
3	доц. Васильченко.Т.О.		
4	доц. Васильченко.Т.О.		
5	доц. Таратута К.В.		
6	доц. Таратута К.В.		
7	доц. Тарасов В.К		

7. Дата видачі завдання 19.05.2015р.

Керівник

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Календарний план

Пор. №	Консультант	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Збір матеріалу на проектування	01.09.15 – 20.09.15	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	21.09.15 – 30.09.15	
3	Виконання теоретичної частини проекту (роботи)	01.10.15 – 01.11.15	
4	Виконання графічної частини проекту	01.11.15 – 01.12.15	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	01.12.15 – 15.12.15	
6	Перевірка проекту консультантами	15.12.15 – 25.12.15	
7	Попередній захист проекту	Згідно з графіком	
8	Переплітання пояснювальної записки		
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент

(Підпис)

Керівник проекту (роботи)

(Підпис)

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Способи розливання сталі й сталерозливні ковші

У розливочних прольотах здійснюється одна з найбільш відповідальних операцій — розливання сталі, у значній мірі визначальна якість злитка. Із процесом розливання сталі нерозривно зв'язано ряд операцій по підготовці ринв і ковшів, обробленню й закладенню сталі в випускного отвору й т.п., а також роботи зі збирання продуктів плавки - злитків в виливницях і шлаків.

Від мостових кранів загального призначення металургійні розливочні крани відрізняються більш складною конструкцією мосту, механізму головного підйому; наявністю двох візків, що переміщуються по мості на різних рівнях; важким режимом роботи й підвищеними вимогами до надійності, безвідмовності й безпеки експлуатації, обумовленими специфікою роботи кранів з рідким металом. До особливостей розливочних кранів ставляться малі швидкості руху головного підйому (2-3 м/хв), плавність підйому вантажів і робота механізмів з малими прискореннями й затримками.

Сталь із ковшів в виливниці розливають різними способами, вибір яких залежить від призначення злитка, його маси й інших причин. Звичайно сталь розливають в виливниці зверху або знизу (сифонне розливання).

Розливання сталі в виливниці зверху відрізняється простотою. Злиток виходить із невеликою кількістю неметалічних включень і великої щільності. При сифонному розливанні сталь заливають в виливницю через центрові й канали в піддоні. Особливістю цього способу є одночасний виліток великої кількості злитків, поверхня їх виходить чистої внаслідок спокійного заповнення виливниці металом. Виливниці під розливання встановлюють на состав із чотиривісних візків вантажопідйомністю 120, 160 і 200 т.

Розливання сталі виконують одним з наступних способів:

- 1) зі сталерозливного ковша, який утримує й переміщає над составом з виливницями розливочний кран;
- 2) з нерухливого сталерозливного ковша, встановленого краном на спеціальний стенд (состав з виливницями пересувається під ковшем);
- 3) через проміжний ківш, встановлений на нерухливому стенді або на візку, що пересувається над составом виливниць.

При розливанні з нерухливих ковшів по другому й третьому способам состав з виливницями переміщається штовхачем.

Проміжні ковші дозволяють здійснювати багатостопорне розливання у дві, три й чотири виливниці. При цьому значно скорочується час розливання, підвищується стійкість сталерозливних ковшів, збільшується пропускна здатність розливочного прольоту, а також підвищується якість злитків.

Ковші діляться на три основні групи: транспортувальний, транспортувально - розливочні й вакуумні. Транспортувальні ковші призначені тільки для транспортування рідких металів, розплавів і шлаків. Частіше використовуються транспортувально - розливочні ковші, якими не тільки, транспортують метал від плавильного агрегату, але й розливають метал або сплав у злитки, чушки, заготовки і т.д. Вакуумні ковші застосовуються при добуванні металів і розплавів з електродузерів (алюміній, магній, шлами електродузерів і т.п.).

Конструкція ковша і його місткість багато в чому визначаються властивостями металу, обсягом виробництва, місткістю плавильного агрегату, видом переробки розплаву після зливу його із плавильного агрегату і т.д. Як правило, ковші для металів і шлаків у більшості випадків різні. Якщо для шлаків ковші виконуються в основному литими без футеровки, то ковші для металу найчастіше виготовляються й футеруються зсередини

вогнетривами (для виключення ушкодження стінок ковша й збереження теплоти металу).

У виробництві легких кольорових металів використовуються зварені футеровані ковші невеликою місткістю (2,6...6 т). Кантування ковша роблять переносним ручним або механічним штурвалом із квадратним хвостовиком, який заходить у квадратну маточину приводного редуктора, змонтованого на ковші.

Ковші для важких металів виконуються набагато більшої місткості. Так, наприклад, місткість ковша для нікелю становить 40т, сталерозливних - 70, 80, 130, 280, 350 т, чавуновозних до 350 т. Ковші мають зварений кожух, понад який закріплюється лите сталеве кільце з ребрами жорсткості. Кільце із двох сторін має центрові плити, у які запресовують цапфи. У випадку, якщо розливання металу ведеться безпосередньо з ковша (сталерозливного) в виливниці, кристалізатори МНЛЗ, МПНЛЗ, то в їхнє днище вбудовують стопорні, шиберні або поворотні затвори. Розливання металів (чавун, нікель, феросплави й ін.) у чушки здійснюється в більшості випадків шляхом кантування ковшів за допомогою кантувальних пристроїв.

Ковші для шлаків відливають переважно з вуглецевих і хромонікелевих сталей. Це викликано тим, що хоча чавунне лиття в 1,5 - 1, 8 рази дешевше сталевого, останні відрізняються в 3 - 3, 5 рази більшою стійкістю. Цапфи ковшів виготовляються з кувань і заливаються в тіло ковшів під час їх виливка.

При визначенні вантажопідйомності ливарних кранів ураховують масу ковша з розплавленим металом, масу траверси й піднімальних канатів. Основна відмінність розрахунків механізму підйому ливарного крана полягає в тому, що кожний механізм підйому розраховують при нормальній і аварійній роботі. Враховуючи небезпечні умови при підйомі рідкого металу, на кожному механізмі підйому повинне бути встановлений по два гальма.

2.2 Призначення й конструкція моделі розливочного крана.

Модель розливного крана (рисунок 2.1) має дві кінцеві балки, до яких кріпляться головні балки й дві допоміжні. По головних балках переміщається головний візок, по допоміжним — допоміжний. Головний візок за допомогою механізму підйому переміщає модель ковша, допоміжний візок обертає цей ківш при розвантаженні. Канати головного візка проходять до траверси між головними й допоміжними балками. Допоміжний візок може вільно переміщатися під головним візком і робити перекидання ковша.

Виконавчий (вантажний) орган моделі розливного крана виконаний у вигляді траверси (рисунок 2.2) із широко розставленими пластинчастими гаками, які підвішені до осей. По краях траверси розташовані канатні блоки, закріплені на осях. Останні закріплені на траверсі перпендикулярно до осей гаків. Відстань між гаками залежить від розмірів ковша для рідкого металу. Механізм підйому має електродвигун і редуктор і два барабани (рисунок 2.3). Керування моделлю здійснюється з пульта керування (рисунок 2.4).

Технічна характеристика головного візка:

- Двигун механізму підйому АОЛ-011-4 N=0,05кВт n=1390 об/хв;
 - Діаметр барабана D=120мм;
 - Кратність кожного поліспада U=2;
 - Швидкість підйому вантажу V = 5 мм/с;
 - Гнучкий орган: Трос сталевий оцинкований 3мм (6x7) DIN 3055.
-
- Двигун механізму пересування АОЛ-011-04 N=0,05кВт n=1390 об/хв;
 - Діаметр коліс D=70мм;
 - Швидкість пересування візка V = 20 мм/с;
 - Кількість коліс 4 (2 приводних колеса).



Рисунок 2.1 - Фотографії моделі розливочного крану.



Рисунок 2.2 - Фотографія моделі ковша із траверсою.

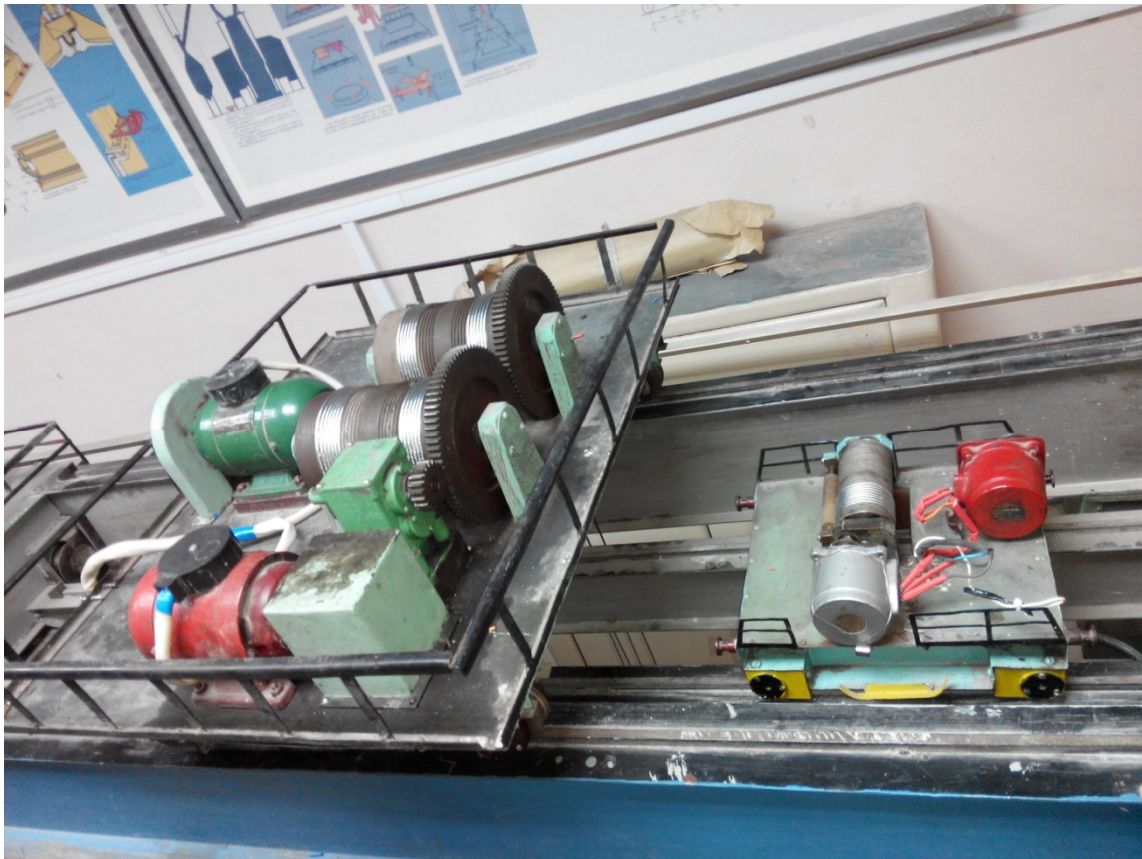


Рисунок 2.3 - Фотографія головного й допоміжного візка.



Рисунок 2.4 - Фотографія пульта керування.

Технічна характеристика допоміжного візка:

- Мотор-редуктор механізму підйому Д-32 N=27 Вт $n=24$ об/хв;
 - Діаметр барабана $D=60$ мм;
 - Кратність поліспада $U=2$;
 - Швидкість підйому вантажу $V = 10$ мм/с;
 - Гнучкий орган: Трос сталевий оцинкований 2мм (6x7) DIN 3055.
-
- Мотор-редуктор механізму пересування Д-32 N=27 Вт $n=27$ об/хв;
 - Діаметр коліс $D=50$ мм;
 - Швидкість пересування візка $V = 20$ мм/с;
 - Кількість коліс 4 (2 приводних колеса).

Ківш 1 (рисунок 2.5), що має конічну форму, утримується пластинчастими гаками 2 траверси 3 розливного крана, на мосту 4 якого встановлений візок 5. На візку 5 розташовані механізми пересування візка 6 і механізм підйому траверси 7. Механізм пересування крана 8 виконаний з роздільним приводом.

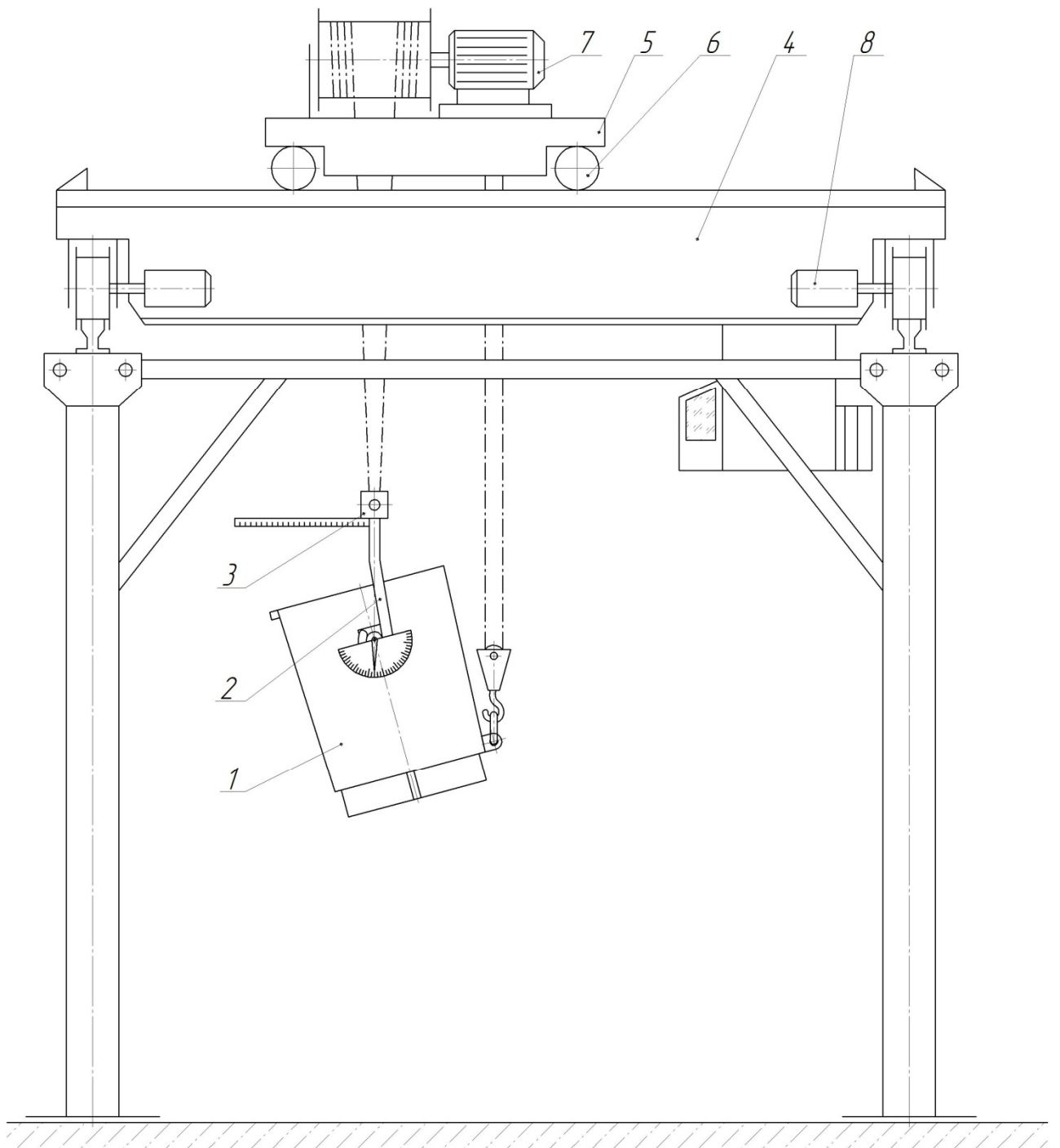


Рисунок 2.5 - Модель розливного крана, виконана в масштабі 1:10.

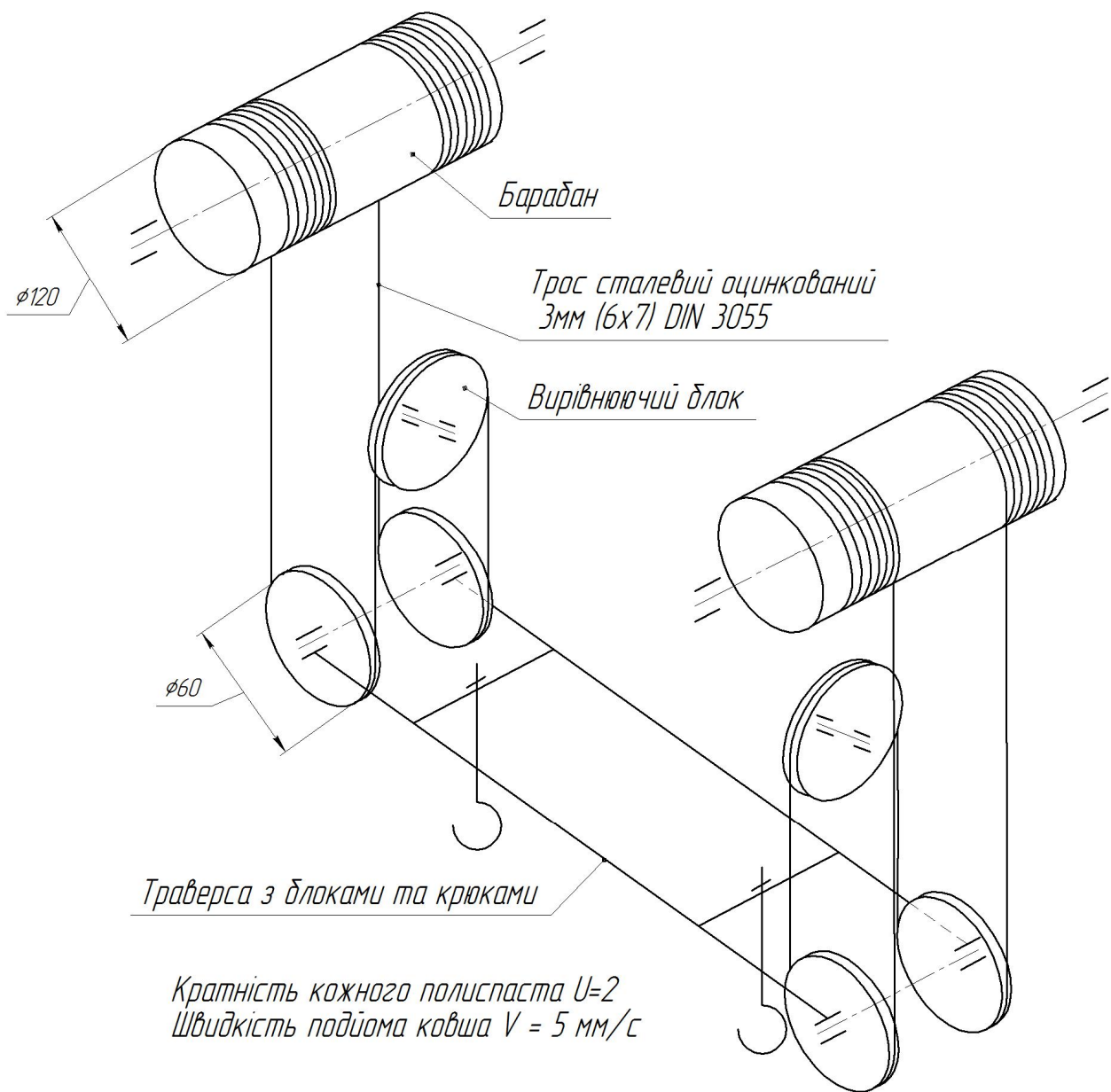
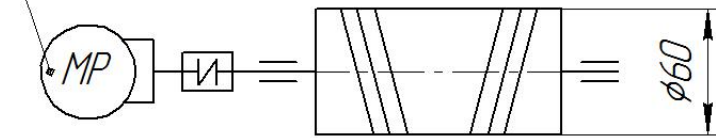


Рисунок 2.7 – Пристрій і запасування канатів поліспасти головного візка.

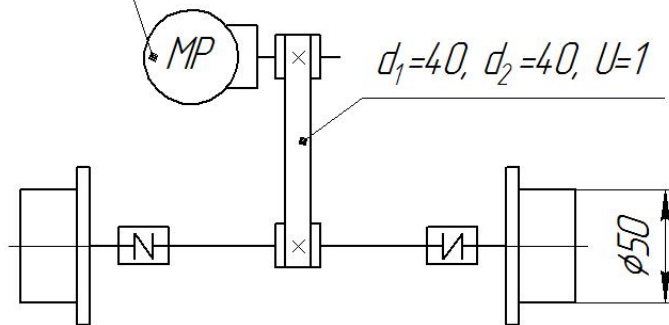
Мотор-редуктор Д-32

$N=27Вт$ $n=24$ об/хв



Мотор-редуктор Д-32

$N=27Вт$ $n=27$ об/хв



Кінематична схема привода нахилу ковша й переміщення допоміжного візка.

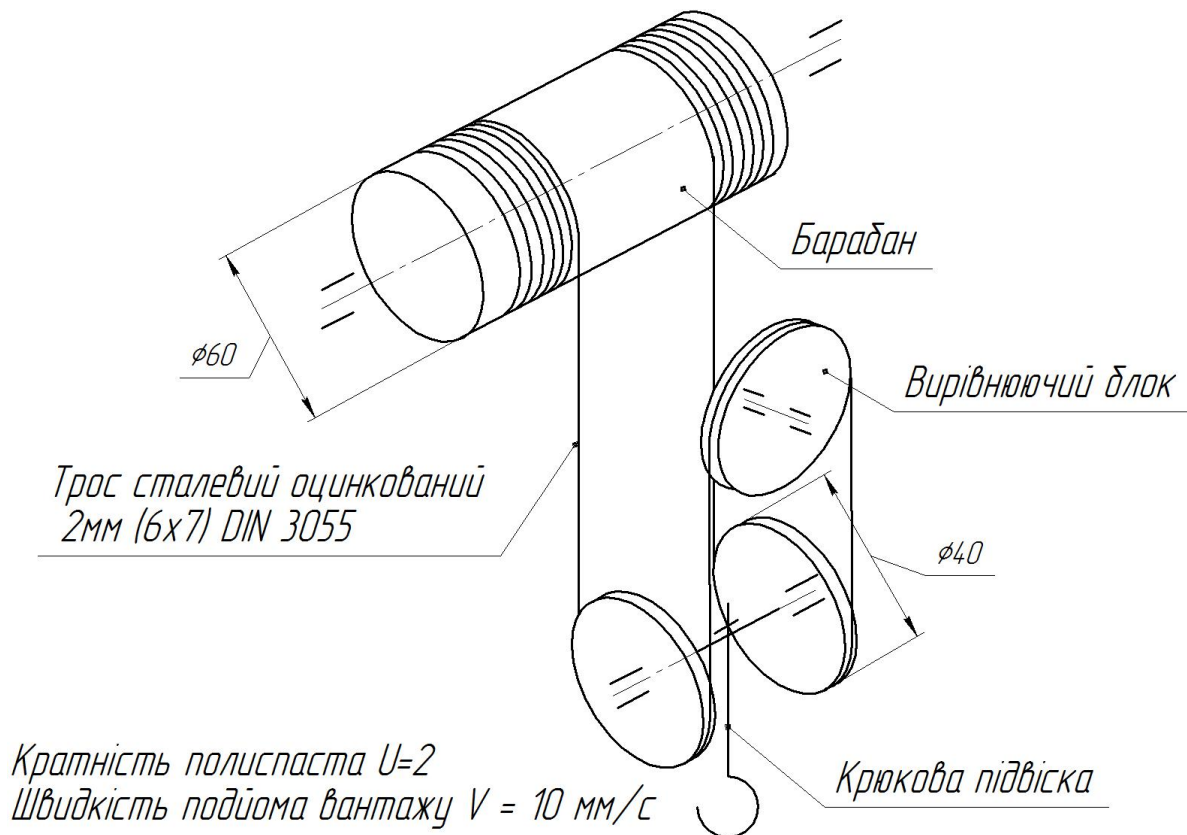


Рисунок 2.8 – Пристрій і запасування канатів поліспасти допоміжного візка.

2.3 Дослідження й визначення оптимального розташування цапф кінцевого розливного ковша.

Дослідження й визначення оптимального розташування цапф кінцевого розливного ковша проводимо на моделі розливного крана, виконаної в масштабі 1:10.

Піднімаємо ківш на висоту, рівну 1 м. До носка ковша (рисунок 2.9) обережно, не допускаючи розгойдування, підвішуємо вантаж 10 вагою Q . По кутоміру 7 вимірюємо кут повороту ковша φ_1 . Підвіс 5 переміщаємо по лінійці 4 до збігу з лінією підвісу вантажу 9. По лінійці 4 визначаємо відстань a_1 від осі цапф до підвіски.

Для виключення впливу тертя між цапфами ковша й пластинчастими гаками використаємо такий спосіб.

Навішуємо додатковий вантаж ΔQ , під дією якого ківш повертається на додатковий кут $\Delta\varphi$. Обережно знімаємо вантаж ΔQ . Ківш вертаючись назад, не дійде до свого первісного положення. Вимірюємо кут повороту ковша φ_2 і плече a_2 . Експеримент повторюємо 3 рази для трьох різних положень ковша. Зважуванням знаходимо вагу порожнього ковша. Дані експериментальних досліджень зводимо в таблицю 2.1.

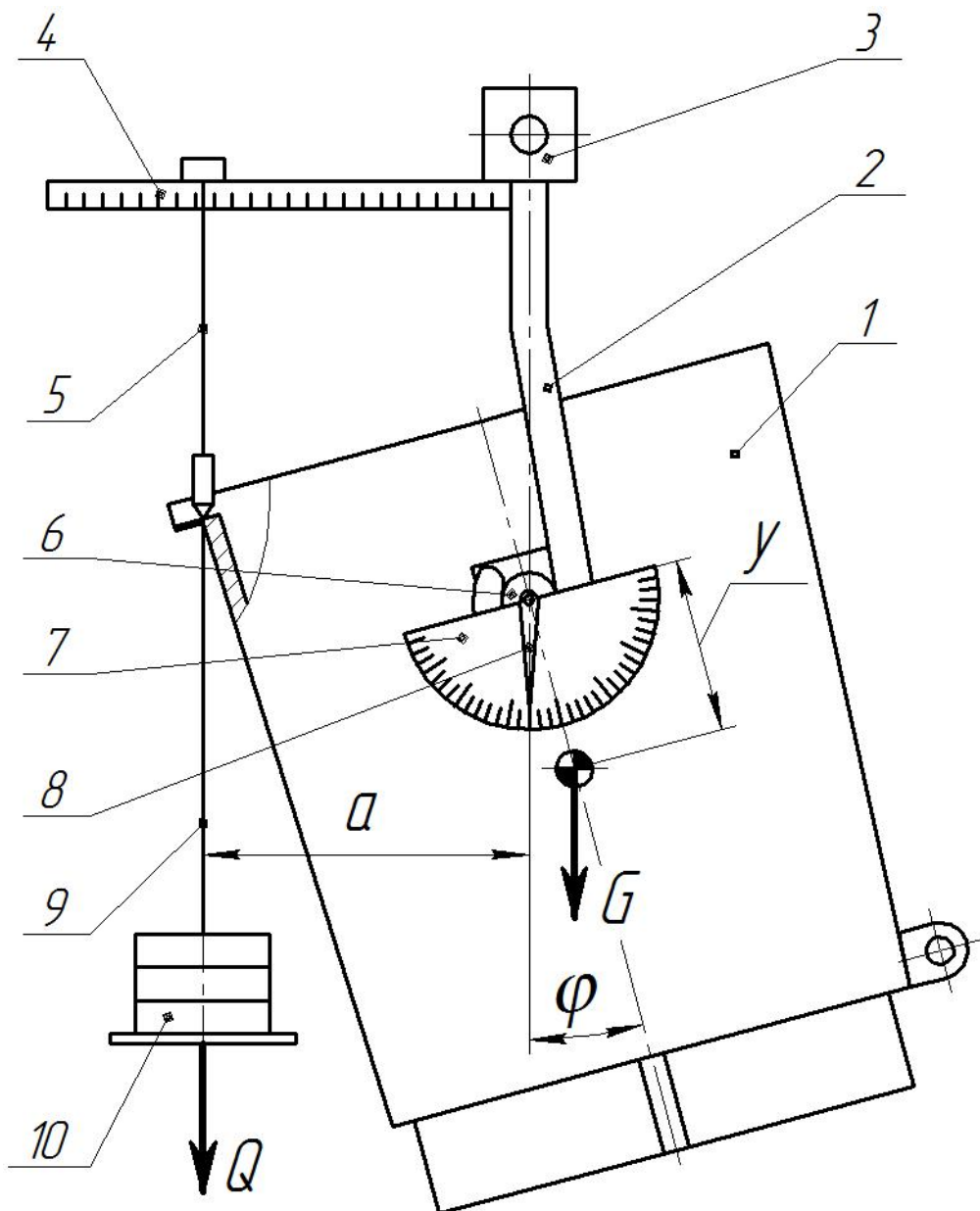


Рисунок 2.9 – До визначення центру ваги порожнього ковша.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані

№	Найменування параметра	Позначення	Одиниця виміру	Перше положення			Друге положення			Третє положення		
				№ виміру			№ виміру			№ виміру		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1.	Вага порожнього ковша	G_K	Н	100			100			100		
2.	Вага вантажу	Q	Н	12,6			22,9			32,9		
3.	Кут повороту ковша	φ_1	град	15	16	15	29	30	30	43	43	43
4.	Відстань від осі цапф до підвіски	a_1	м	0,167	0,165	0,165	0,172	0,173	0,173	0,165	0,165	0,165
5.	Вага додаткового вантажу	ΔQ	Н	10,3			9,95			10,3		
6.	Кут повороту ковша навантаженого додатковим вантажем	$\Delta\varphi$	град	30	29	29	42	43	43	54	55	55
7.	Кут повороту ковша після зняття додаткового вантажу	φ_2	град	18	17	18	32	32	31	45	45	44
8.	Відстань від осі цапф до осі підвіски після зняття додаткового вантажу	a_2	м	0,17	0,168	0,169	0,175	0,175	0,173	0,165	0,165	0,164

Додатково вимірюють радіуси верхньої R і нижньої r внутрішньої конічної порожнини ковша, висоту внутрішньої порожнини H , відстань від внутрішньої поверхні днища до осі цапф ковша моделі h_0 .

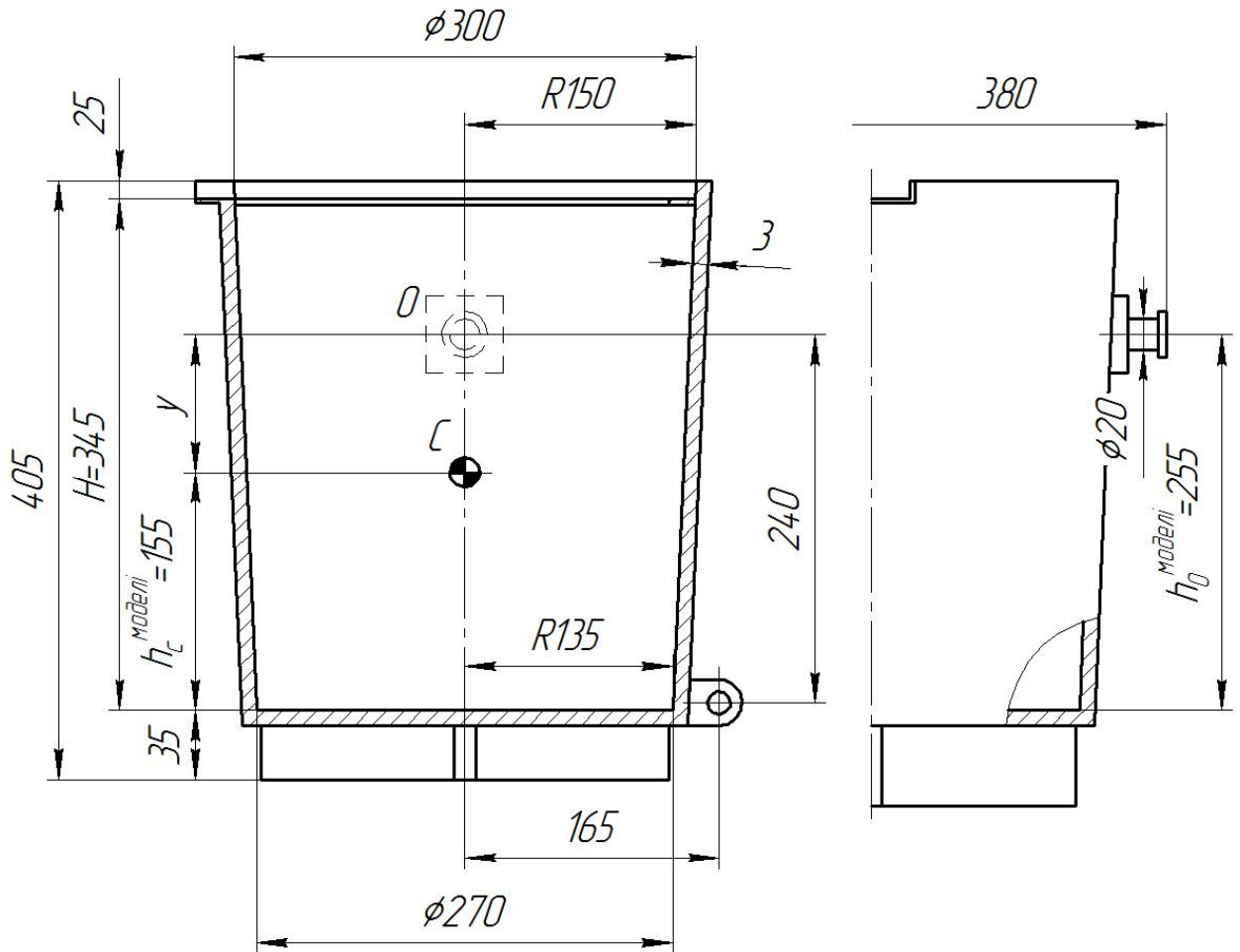


Рисунок 2.10 – Геометричні розміри ковша

- Вага порожнього ковша $G_K = 10\text{кг} = 100\text{ Н}$;
- Радіус верхньої внутрішньої конічної порожнини ковша $R = 150\text{мм} = 0,15\text{м}$;
- Радіус нижньої внутрішньої конічної порожнини ковша $r = 135\text{мм} = 0,135\text{м}$;
- Висота внутрішньої порожнини ковша $H = 345\text{мм} = 0,345\text{м}$;
- Відстань від внутрішньої поверхні днища до центру ваги моделі ковша $h_c^{\text{моделі}} = 155\text{мм} = 0,155\text{м}$ (значення знайдене з побудованої твердотілої моделі ковша в програмі Компас 3D V15 параметр Y_c , рисунок 2.11);
- Відстань від внутрішньої поверхні днища до осі цапф моделі ковша $h_0^{\text{моделі}} = 255\text{мм} = 0,255\text{м}$.

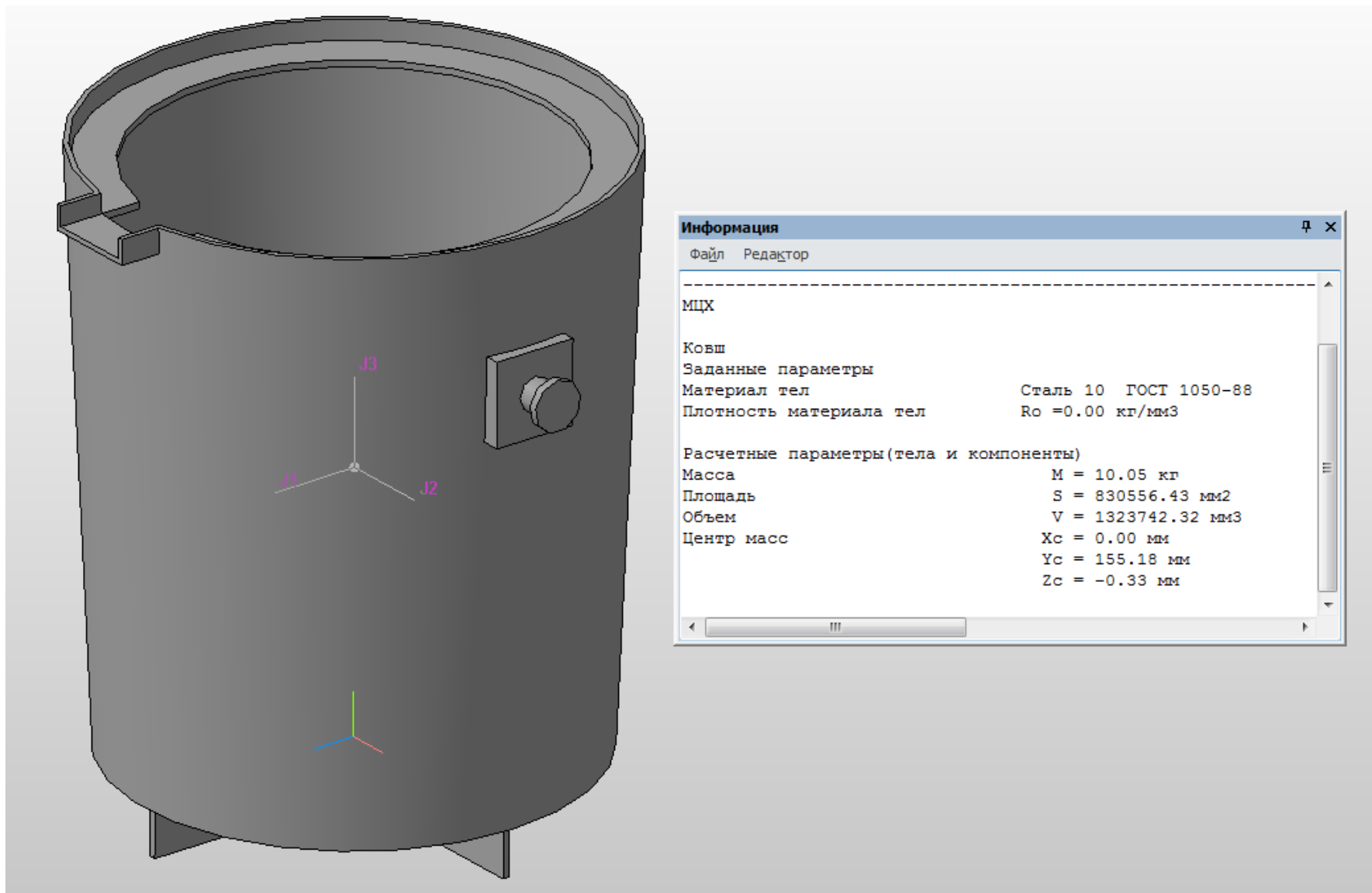


Рисунок 2.11 – Тривимірна модель ковша

2.4 Обробка експериментальних даних

Запишемо рівняння рівноваги для двох положень ковша.

1 положення. Ківш повернутий на кут φ_1 під дією вантажу Q :

$$G_K \cdot y \cdot \sin \varphi_1 + M_{тр} = Q \cdot a_1 \quad (2.1)$$

де y - відстань від осі повороту ковша до центру його ваги, м.

$M_{тр}$ - момент тертя на цапфах ковша.

2 положення. Ківш повернутий на кут φ_2 після зняття додаткового вантажу ΔQ :

$$G_K \cdot y \cdot \sin \varphi_2 + M_{тр} = Q \cdot a_2 \quad (2.2)$$

Вирішуючи отриману систему відносно y , одержуємо відстань від осі повороту ковша до центру його ваги:

$$y = \frac{Q(a_1 + a_2)}{G_K(\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2)} \quad (2.3)$$

Виконаємо розрахунки для всіх трьох положень ковша по формулі (2.3), і знайдемо їхні середні значення.

Для першого положення, першого виміру:

$$y = \frac{12,6 \cdot (0,167 + 0,17)}{100(\sin 15^\circ + \sin 18^\circ)} = 0,075 \text{ м}$$

Результати всіх інших розрахунків зведемо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані й результати розрахунків відстані від осі повороту ковша до центру його ваги.

№	Найменування параметра	Позначення	Одиниця виміру	Перше положення			Друге положення			Третє положення		
				№ виміру			№ виміру			№ виміру		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1.	Вага порожнього ковша	GK	Н	100			100			100		
2.	Вага вантажу	Q	Н	12,6			22,9			32,9		
3.	Кут повороту ковша	φ_1	град	15	16	15	29	30	30	43	43	43
4.	Відстань від осі цапф до підвіски	a_1	м	0,167	0,165	0,165	0,172	0,173	0,173	0,165	0,165	0,165
5.	Кут повороту ковша після зняття додаткового вантажу	φ_2	град	18	17	18	32	32	31	45	45	44
6.	Відстань від осі цапф до осі підвіски після зняття додаткового вантажу	a_2	м	0,17	0,168	0,169	0,175	0,175	0,173	0,165	0,165	0,164
7.	Відстань від осі повороту ковша до центру його ваги	y	м	0,075	0,074	0,074	0,078	0,077	0,078	0,078	0,078	0,079
8.	Середнє значення	U_{cp}	м	0,074			0,078			0,078		

2.5 Теорія розрахунку кіничного ливарного ковша

Якщо підвісити тверде тіло на осі D , перпендикулярної до площини креслення (рисунок 2.12, а) і не співпадаючої з його центром ваги S , то для відхилення тіла зі стану рівноваги на кут φ до нього потрібно прикласти момент:

$$M = G \cdot s \cdot \sin \varphi,$$

де G — вага тіла,

s — відстань від осі повороту до центру ваги.

Такий же момент необхідно прикласти до даного тіла для втримання його в поверненому на кут φ положенні. Таким чином, для твердого тіла момент M змінюється зі зміною кута повороту за законом синусоїди (рис 2.12, б).

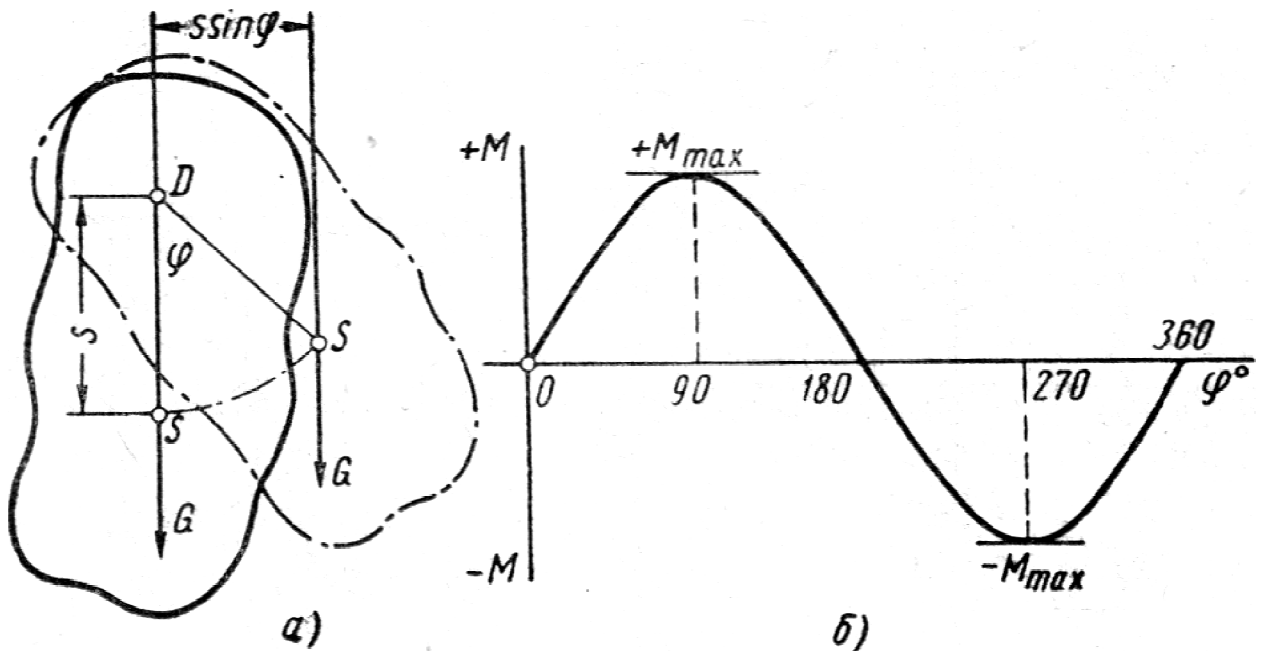


Рисунок 2.12 - Схема до розрахунків перекидаючого моменту твердого тіла (а) і зміна моменту по куту нахилу (б)

Будемо вважати прикладений перекидаючий тіло ззовні момент M позитивним, якщо напрямок його дії збігається з напрямком повороту тіла, і негативним, якщо він спрямований проти обертання тіла. Якщо припинити дія позитивного моменту, тіло почне повертатися назад у своє колишне положення рівноваги. Негативний момент не повертає тіло, а стримує його від мимовільного перекидання. Якщо припинити дія негативного перекидаючого моменту, то тіло, нічим тепер не стримуване, буде повертатися далі, відходячи від свого колишнього положення рівноваги.

З рисунку 2.12, б випливає, що перекидаючий момент твердого тіла в першій половині повороту буде позитивним, а в другій — негативним. При цьому по абсолютній величині

$$+M_{\max} = -M_{\max} = G \cdot s$$

Очевидно, що поворотний механізм для такого тіла повинен бути розрахований на момент $G \cdot s$. Однак такий простий закон зміни моменту по куту повороту має місце лише для твердого тіла. Ливарний ківш являє собою комплекс твердого тіла (порожній ківш) і рідкого (метал), причому внаслідок переміщення й виливання рідкого металу під час обертання загальний (сумарний) момент для всього ковша змінюється за складним законом. Складність завдання збільшується тим, що при проектуванні нового ковша невідоме положення осі повороту, зі зміною якої міняються й величини моментів для всіх кутів повороту.

Можливі два принципово різні погляди на те, як слід розташовувати вісь обертання ковша. Відповідно одній точці зору вісь обертання слід розташовувати таким чином, щоб при будь-якому куті повороту, аж до повного спорожнювання ковша момент, що перекидає, мав позитивне значення, тобто щоб ківш увесь час перебував у стані стійкої рівноваги.

Щонайнижче положення осі повороту, при якій дана умова задовольняється, будемо називати безпечним. У випадку безпечного положення осі повороту при поломці поворотного механізму ківш не перекинеться, а вернеться у вихідне вертикальне положення.

На рисунку 2.13 показано три лінії зміни сумарного моменту по куту повороту для того самого ковша, але при різному положенні осі повороту. Верхня крива відповідає безпечному положенню осі повороту. Якщо вісь повороту підняти ще вище, то крива моментів також підніметься, залишаючись у позитивній області, над віссю абсцис. Однак таке збільшення перекидаючих моментів буде вже зайвим, не викликаним міркуваннями безпеки ковша.

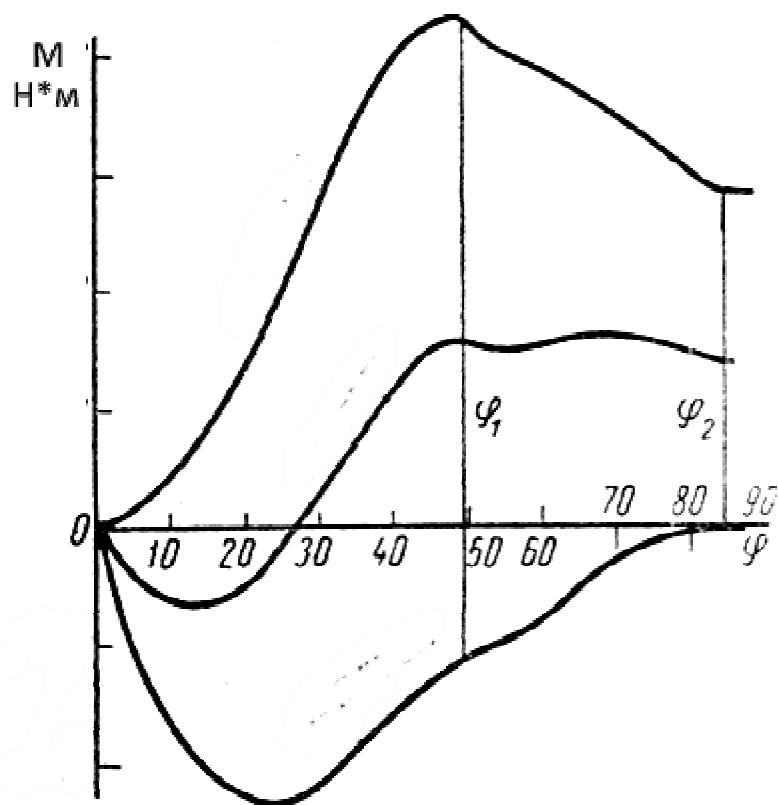


Рисунок 2.13 - Криві зміни перекидаючого моменту ливарного ковша по куту повороту при різній висоті осі повороту над дном порожнини ковша.

Згідно з іншою точкою зору вісь повороту слід розташовувати так, щоб у першій частині спорожнювання ковша, до деякого кута повороту, мав би місце негативний момент, у другій же частині спорожнювання — позитивний момент, причому абсолютні величини максимального позитивного й максимального негативного моментів були б рівні. У цьому випадку абсолютна величина $+M_{\max} = -M_{\max}$ значно менше, чим той максимальний момент, який вийде при безпечному положенні осі, і тому сам поворотний механізм буде легше й ківш більш легко керуємий. Зрозуміло, що в цьому випадку при поломці поворотного механізму, у той час коли момент негативний, ківш перекинеться й рідкий метал з нього виплеснеться.

На рисунку 2.14 показана зміна сумарного перекидаючого моменту ливарного ковша по куту повороту для цього випадку. Моменти $+M_{\max} = -M_{\max}$ рівні по абсолютній величині і є найменшими в порівнянні з максимальним моментом при будь-якому іншому положенні осі повороту. Однак до кута повороту близько $30\text{—}35^\circ$ ківш не є безпечним.

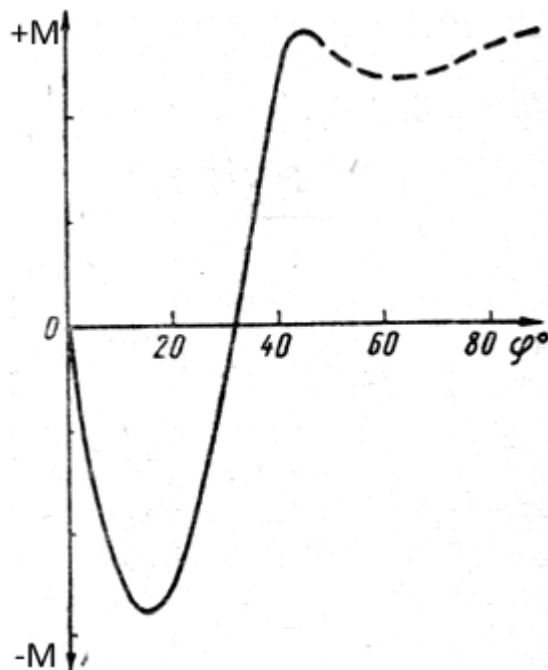


Рисунок 2.14 - Перекидаючий момент ливарного ковша по куту повороту за умови $+M_{\max} = -M_{\max}$

За правилами техніки безпеки ковші слід проектувати з безпечним положенням осі повороту. І лише в окремих випадках при наявності дистанційного керування ковшем і спеціальних огорожень, що виключають знаходження людей у небезпечній зоні, може бути допущене положення осі повороту, при якому момент ковша з металом на частині повороту може бути негативним.

2.6 Аналітичний метод розрахунку ковша

Існує аналітичний і графоаналітичний метод розрахунку перекидаючого моменту кінцевого ливарного поворотного ковша. Розглянемо найбільш застосовуваний у практиці метод професора Кенига аналітичного розрахунків для ливарних ковшів із загальноприйнятими співвідношеннями геометричних розмірів і за умови безпечного положення осі повороту.

Припустимо спочатку, що положення осі повороту ковша відомо й потрібно знайти максимальний перекидаючий момент при його спорожнюванні. Розчленуємо ківш із металом на два тіла — порожній ківш, що представляє собою тверде тіло з постійною вагою й положенням центру ваги, і рідкий метал, який перебуває в ньому й у якого в процесі розливання змінюється й вага, і положення центру ваги.

Перекидаючий момент порожнього ковша при будь-якому куті повороту φ становить:

$$M_k = G_K (h_0 - h_c) \sin (\varphi) \quad (4)$$

де G_K - вага порожнього ковша;

h_0 - відстань від дна порожнини ковша до осі повороту;

h_c - відстань від дна порожнини ковша до центру ваги порожнього ковша.

Величини G_K , h_0 та h_c визначаються по геометричних розмірах проєктованого ковша. Для визначення перекидаючого моменту рідкого металу помістимо початок координат на осі ковша на відстані під дном ковша, рівному

$$p = \frac{H}{4} \cdot \frac{r}{R-r} \quad (2.5)$$

тобто у центрі ваги відсіченої частини конуса.

Тоді вага металу γV (γ - питома вага металу), що залишився в ковші при куті повороту φ , буде мати щодо осі повороту D ковша (рисунок 2.15) плече

$$L = h_0 \sin(\varphi) - x_s \cos(\varphi) - (y_s - p) \sin(\varphi),$$

де x_s і y_s — координати центру ваги металу SM , що залишився в ковші.

Момент ваги металу складе

$$\begin{aligned} M_M &= \gamma V \cdot L = \gamma V (h_0 \sin(\varphi) - x_s \cos(\varphi) - (y_s - p) \sin(\varphi)) = \\ &= \gamma V h_0 \sin(\varphi) - \gamma v x_s \cos(\varphi) - \gamma V (y_s - p) \sin(\varphi) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Сумарний перекидаючий момент усього ковша з металом буде:

$$\begin{aligned} M &= M_K + M_M = \\ &= GK (h_0 - h_c) \sin(\varphi) + \gamma V h_0 \sin(\varphi) - \gamma v x_s \cos(\varphi) - \gamma V (y_s - p) \sin(\varphi) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Як видно з наведеного раніше графіка (рисунок 2.13), максимум сумарного перекидаючого моменту при безпечному положенні осі повороту має місце приблизне при куті повороту $\varphi = \varphi_1$, який відповідає положенню ковша, коли починає оголюватися його дно. Значення кута φ_1 :

$$\varphi_1 = \arctg \frac{H}{R+r} \quad (2.8)$$

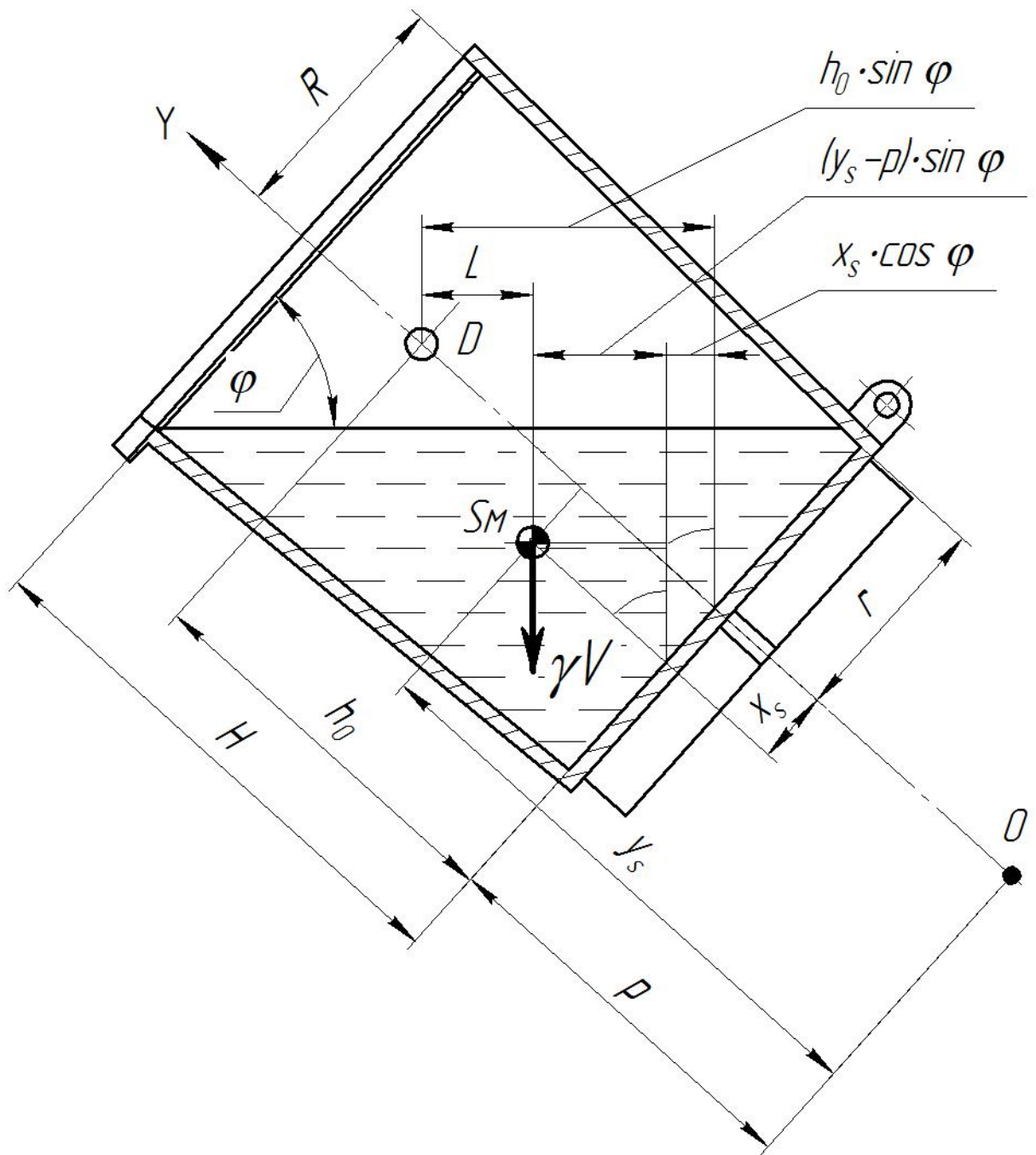


Рисунок 2.15 - Розрахункова схема до визначення моменту рідкого металу, що залишився в ковші.

Отже, розрахунки перекидаючого моменту по формулі (2.7) і за умови вибору безпечного положення осі повороту слід робити лише для $\varphi = \varphi_1$, знайдена величина моменту може бути прийнята в якості розрахункової.

Значення V , V_{x_s} і V_{y_s} , необхідні для розрахунків по формулі (2.7), визначаємо для $\varphi = \varphi_1$ по формулах:

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \frac{\pi H}{3} \cdot \frac{(rR)^{\frac{3}{2}} - r^3}{R - r} \\ V_{x_s} = \frac{\pi H}{8} \cdot (rR)^{\frac{3}{2}} \\ V_{y_s} = \frac{\pi H^2}{8} \cdot \frac{(rR)^{\frac{3}{2}}}{R - r} \end{array} \right\} \quad (2.9)$$

Користуючись формулою (2.7) для сумарного перекидаючого моменту ковша з металом, знайдемо координату h_0 безпечного положення осі повороту ковша. Умова для знаходження h_0 полягає в тому, щоб на початку координат дотична до кривої M по φ була горизонтальна:

$$\left(\frac{dM}{d\varphi} \right)_{\varphi=0} = 0$$

Ця умова приводить до наступної розрахункової формули для безпечного положення осі повороту:

$$h_0 = \frac{G_K \cdot h_c + \gamma \frac{\pi}{4} \left[R^4 + \frac{H^2 \cdot R^3}{R - r} - \frac{H^2 \cdot r}{3} \cdot \frac{(R^3 - r^3)}{(R - r)^2} \right]}{G_K + \gamma \frac{\pi}{3} \cdot H \cdot \frac{(R^3 - r^3)}{(R - r)}}; \quad (2.10)$$

При проектуванні ковша насамперед по заданій ємності, користуючись загальноприйнятими співвідношеннями основних розмірів (звичайно $H = 2R$ і $r = 0,9R$), знаходять розміри внутрішньої порожнини ковша, а також

призначають, за практичним даними, товщину футеровки й заліза днища й обичайки ковша. Потім по формулі (2.10) знаходять координату положення осі повороту, після чого по формулі (2.7) розраховують перекидаючий момент.

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

Для розрахунків приймемо в якості рідини воду, для якої питома вага становить $\gamma = 10000 \text{ Н/м}^3$.

Розрахункова відстань від внутрішньої поверхні днища ковша до центру ваги моделі порожнього ковша $h_0^{\text{моделі}}$ з врахуванням $u_{\text{ср}}$.

$$h_c = h_0^{\text{моделі}} - u_{\text{ср}}$$

Тоді для кожного положення ковша:

$$h_c^1 = 0,255 - 0,074 = 0,181 \text{ мм};$$

$$h_c^2 = 0,255 - 0,078 = 0,177 \text{ мм};$$

$$h_c^3 = 0,255 - 0,078 = 0,177 \text{ мм};$$

Розрахункове безпечне положення осі повороту ковша для кожного положення ковша по формулі (2.10):

для першого положення

$$h_0^1 = \frac{100 \cdot 0,181 + 10000 \cdot \frac{3,14}{4} \left[0,15^4 + \frac{0,345^2 \cdot 0,15^3}{0,15 - 0,135} - \frac{0,345^2 \cdot 0,135}{3} \cdot \frac{(0,15^3 - 0,135^3)}{(0,15 - 0,135)^2} \right]}{110 + 10000 \cdot \frac{3,14}{3} \cdot 0,345 \cdot \frac{(0,15^3 - 0,135^3)}{(0,15 - 0,135)}} = 0,180 \text{ м}$$

для другого положення

$$h_0^2 = \frac{100 \cdot 0.177 + 10000 \frac{3.14}{4} \left[0.15^4 + \frac{0.345^2 \cdot 0.15^3}{0.15 - 0.135} - \frac{0.345^2 \cdot 0.135}{3} \cdot \frac{(0.15^3 - 0.135^3)}{(0.15 - 0.135)^2} \right]}{110 + 10000 \frac{3.14}{3} \cdot 0.345 \cdot \frac{(0.15^3 - 0.135^3)}{(0.15 - 0.135)}} = 0.184 \text{ м}$$

для третього положення

$$h_0^3 = \frac{100 \cdot 0.177 + 10000 \frac{3.14}{4} \left[0.15^4 + \frac{0.345^2 \cdot 0.15^3}{0.15 - 0.135} - \frac{0.345^2 \cdot 0.135}{3} \cdot \frac{(0.15^3 - 0.135^3)}{(0.15 - 0.135)^2} \right]}{110 + 10000 \frac{3.14}{3} \cdot 0.345 \cdot \frac{(0.15^3 - 0.135^3)}{(0.15 - 0.135)}} = 0.184 \text{ м}$$

Зіставивши значення h_0 і $h_0^{\text{моделі}}$ ($180\text{мм} < 255\text{мм}$ і $184\text{мм} < 255\text{мм}$) бачимо що вісь повороту ковша перебуває вище необхідного значення що говорить про її безпечне положення але і як наслідок збільшеним (нераціональним) перекидаючим моментом.

2.8 Знаходження перекидаючих момент від ваги порожнього ковша й ваги металу при заданий кутах повороту.

Перекидаючий момент порожнього ковша для заданих кутах повороту φ по формулі (2.4) складе:

$$M_k = G_k (h_0^{\text{моделі}} - h_c^{\text{моделі}}) \sin \varphi$$

$$\text{для кута } \varphi = 10^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 10^\circ = 1,74 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$\text{для кута } \varphi = 20^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 20^\circ = 3,42 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$\text{для кута } \varphi = 30^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 30^\circ = 5,0 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$\text{для кута } \varphi = 40^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 40^\circ = 6,43 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

для кута $\varphi = 45^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 45^\circ = 7,07 \text{ Н}\cdot\text{м}$

для кута $\varphi = 50^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 50^\circ = 7,66 \text{ Н}\cdot\text{м}$

для кута $\varphi = 60^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 60^\circ = 8,66 \text{ Н}\cdot\text{м}$

для кута $\varphi = 70^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 70^\circ = 9,40 \text{ Н}\cdot\text{м}$

для кута $\varphi = 80^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 80^\circ = 9,85 \text{ Н}\cdot\text{м}$

для кута $\varphi = 85^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 85^\circ = 9,96 \text{ Н}\cdot\text{м}$

для кута $\varphi = 90^\circ \rightarrow M_k = 100 (0,255 - 0,155) \sin 90^\circ = 10,0 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Для визначення перекидаючого моменту від рідини помістимо початок координат на осі ковша на відстані під дном ковша, рівному по формулі (2.5) тобто в центрі ваги відсіченої частини конуса:

$$p = \frac{0,345}{4} \cdot \frac{0,135}{0,150 - 0,135} = 0,776 \text{ м}$$

Максимум сумарного перекидаючого моменту при безпечному положенні осі повороту має місце приблизне при куті повороту $\varphi_1 = \varphi_{M_{\max}}$, який відповідає положенню ковша, коли починає оголюватися його дно й рідина починає зливатися з ковша по формулі (2.8).

$$\varphi_{M_{\max}} = \arctg \frac{0,345}{0,15 + 0,135} \approx 50^\circ$$

На практиці даний кут склав 49° , що дуже близько до теоретичного значення, для простоти розрахунків використовуємо кут 50° .

Розрахункові значення V , x_s і y_s визначимо для кута $\varphi = 50^\circ$ по формулах (2.9):

$$V = \frac{3.14 \cdot 0.345}{3} \cdot \frac{(0.135 \cdot 0.150)^{\frac{3}{2}} - 0.135^3}{0.150 - 0.135} = 0.011$$

$$Vx_s = \frac{3.14 \cdot 0.345}{8} \cdot (0.135 \cdot 0.150)^{\frac{3}{2}} = 0.0004$$

$$Vy_s = \frac{3.14 \cdot 0.345^2}{8} \cdot \frac{(0.135 \cdot 0.150)^{\frac{3}{2}}}{0.150 - 0.135} = 0.0089$$

Звідки

$$V = 0.011 \text{ м}^3$$

$$x_s = \frac{0.0004}{V} = \frac{0.0004}{0.011} = 0.036 \text{ м}$$

$$y_s = \frac{0.0089}{V} = \frac{0.0089}{0.011} = 0,809 \text{ м}$$

Момент від ваги рідини по формулі (2.6) складе:

$$M_p = 10000 \cdot 0,011 \cdot 0,255 \cdot \sin(50^\circ) - 10000 \cdot 0,011 \cdot 0,036 \cdot \cos(50^\circ) - \\ - 10000 \cdot 0,011 \cdot (0,809 - 0,776) \cdot \sin(50^\circ) = 16,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сумарний перекидаючий момент усього ковша з рідиною для кута $\varphi = 50^\circ$ по формулі (2.7) буде рівний:

$$M_{50^\circ} = 7,66 + 16,2 = 23,86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Ручні розрахунки моменту від ваги рідини й сумарний перекидаючий момент від ваги ковша з рідиною докладно виконаємо лише для одного положення $\varphi_{M \max} = 50^\circ$, інші розрахунки зведемо в таблицю 2.3. Для спрощення й підвищення точності розрахунків скористаємося програмою Microsoft Excel.

Для спрощення знаходження об'єму й координат центру ваги рідини скористаємося побудовою твердотілої моделі форми рідини для кожного заданого кута повороту ковша в програмі Компас 3D V15 (рисунки 2.16 – 2.26).

Для проведення експерименту в якості рідини використовувалася вода, якою ківш наповнювався на 50% ($V_{\text{води}} = 11 \text{ літрів} = 0,011\text{м}^3$) від свого повного об'єму ($V_{\text{ковша}} = 22 \text{ літра} = 0,022\text{м}^3$)

Будуємо графіки по отриманим величинах (рисунок 2.27).

Перетворюючи формулу (2.6) для наших координат центрів ваги рідини та виходячи з розрахункової схеми на рисунку (2.28) одержимо:

$$L = h_0 \cdot \sin(\varphi) - Z_c$$

$$M_p = \gamma V \cdot L = \gamma V \cdot (h_0 \cdot \sin(\varphi) - Z_c) \quad (2.11)$$

Для знаходження зусилля в канатах S механізму підйому (гак підвіски якого закріплений у вушко ковша) знайдемо плече сили, якщо відомо що вушко перебуває на відстані $k = 240$ мм від цапф ковша.

$$S = M / (k / \sin(\varphi)) \quad (2.12)$$

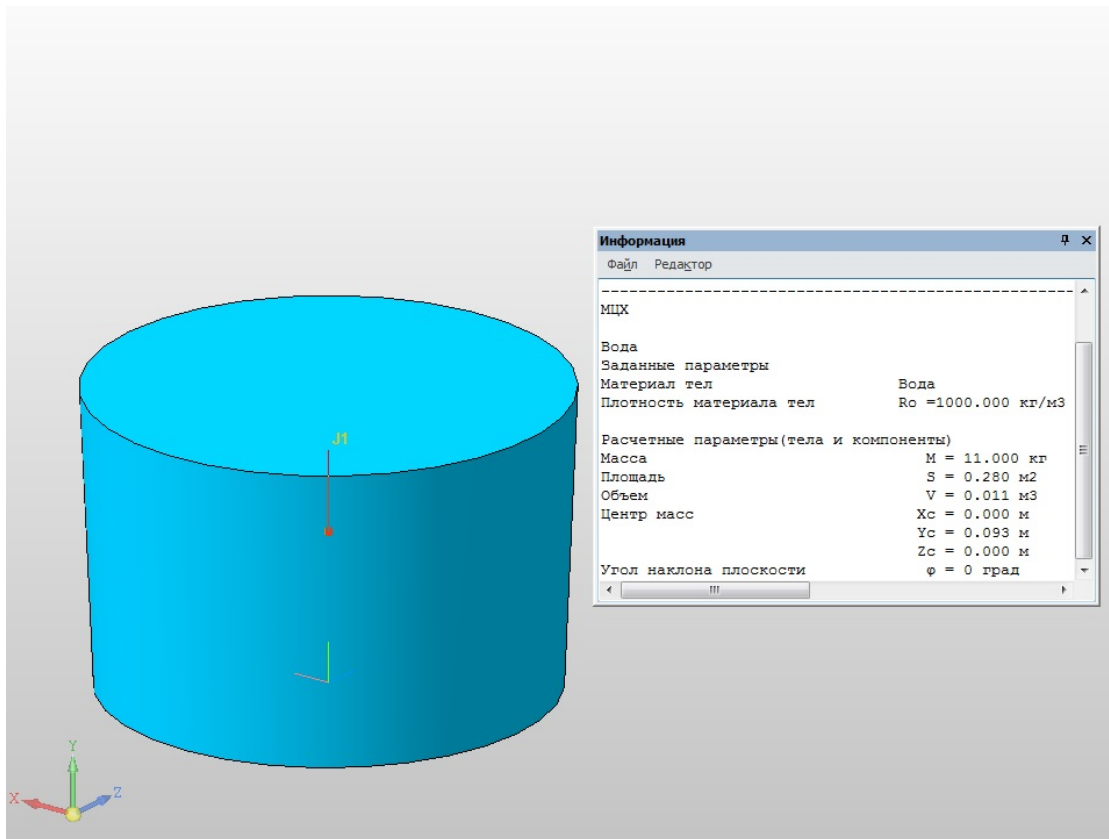


Рисунок 2.16 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\phi = 0^\circ$

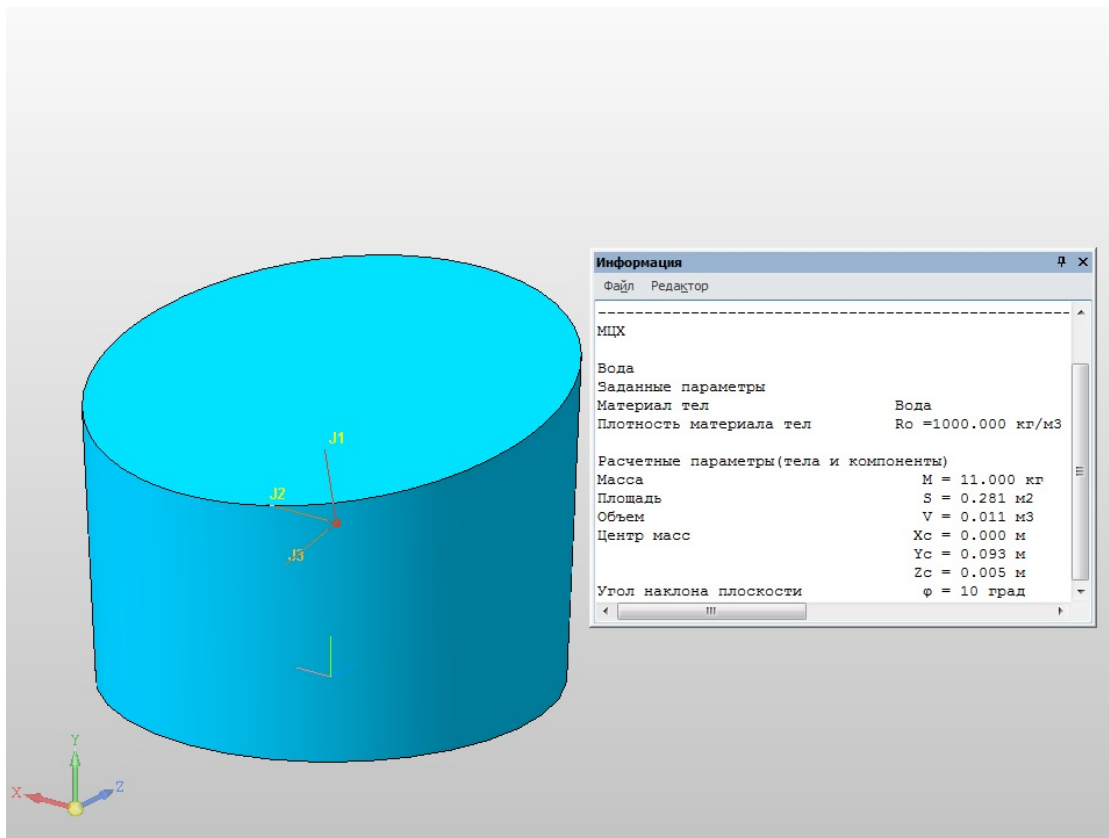


Рисунок 2.17 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\phi = 10^\circ$

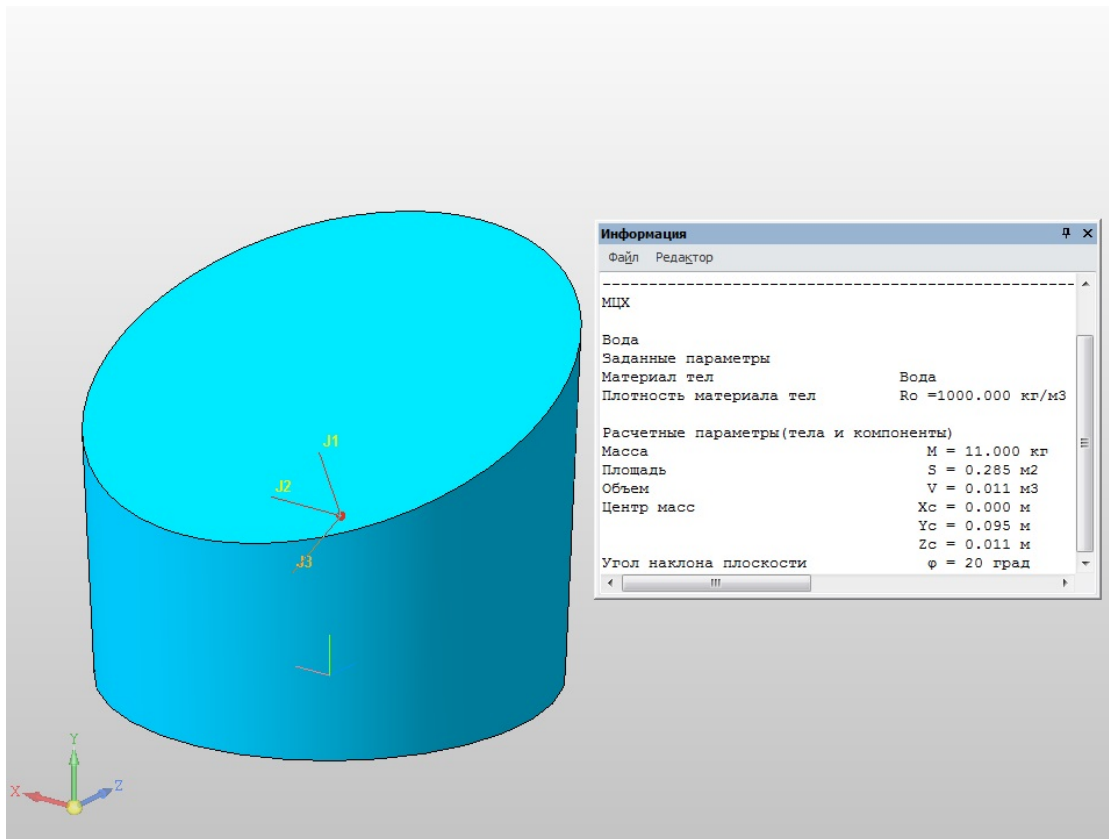


Рисунок 2.18 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\phi = 20^\circ$

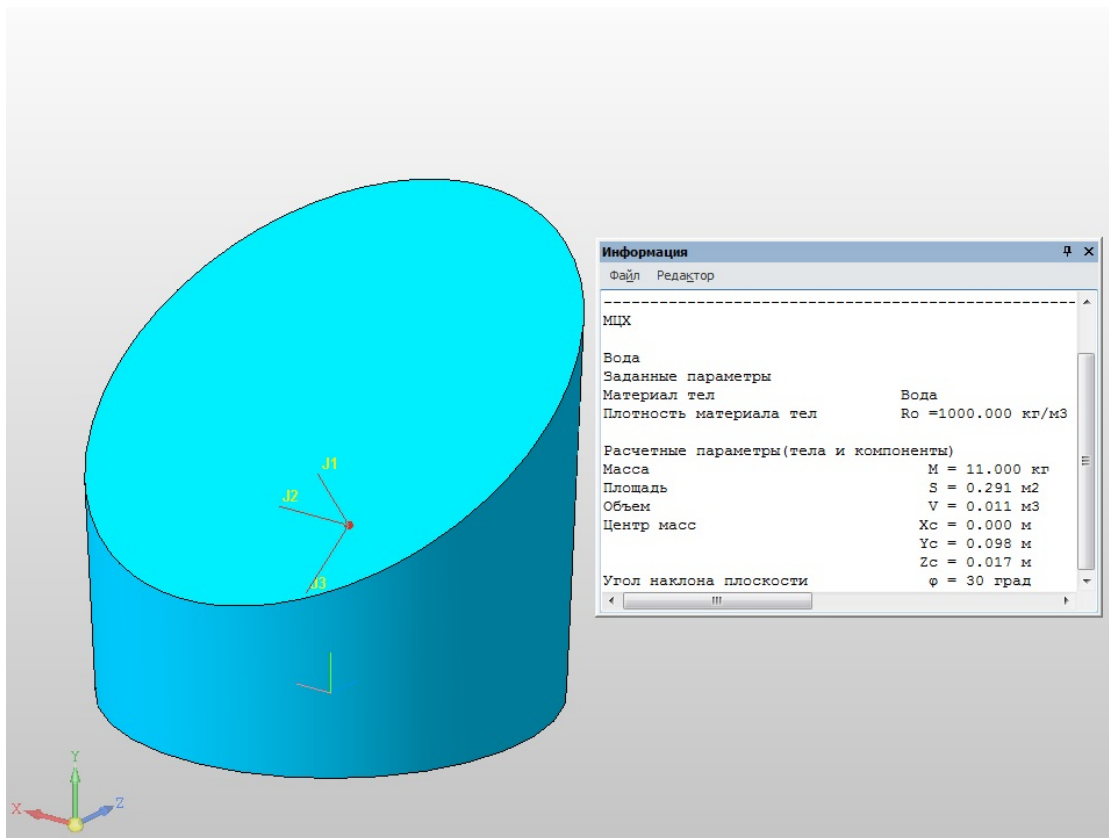


Рисунок 2.19 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\phi = 30^\circ$

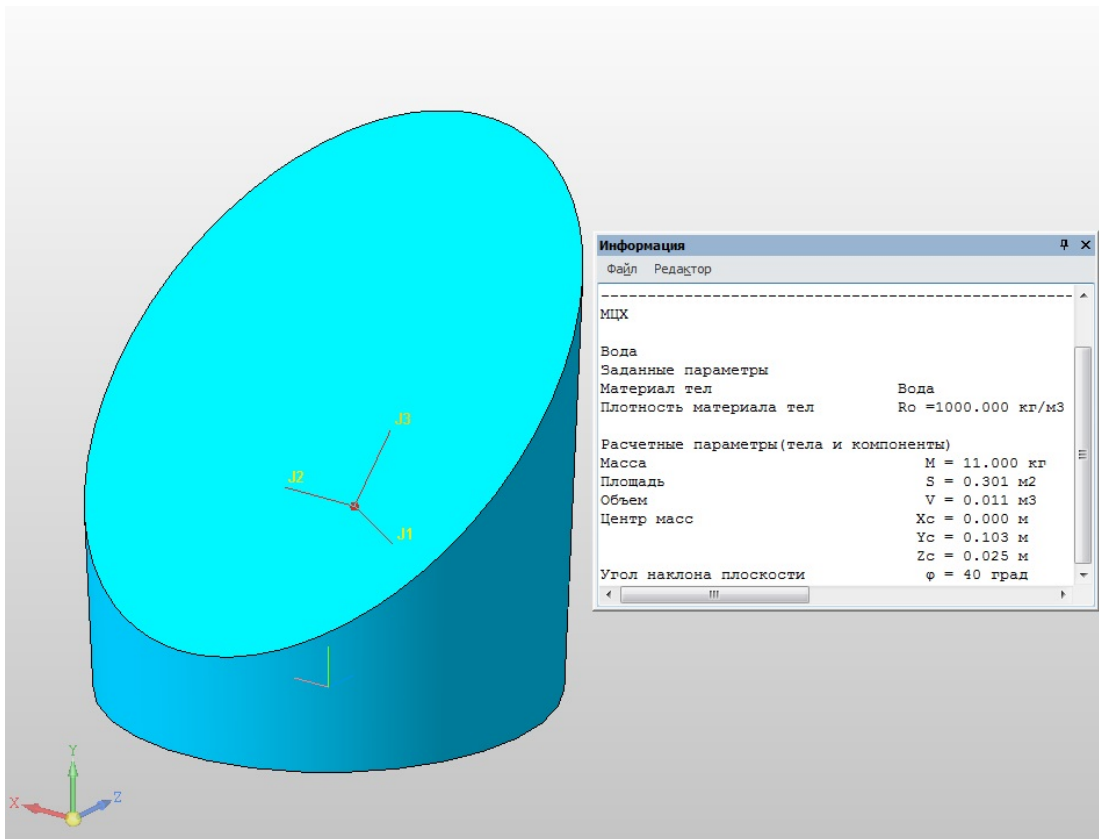


Рисунок 2.20 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\varphi = 40^\circ$

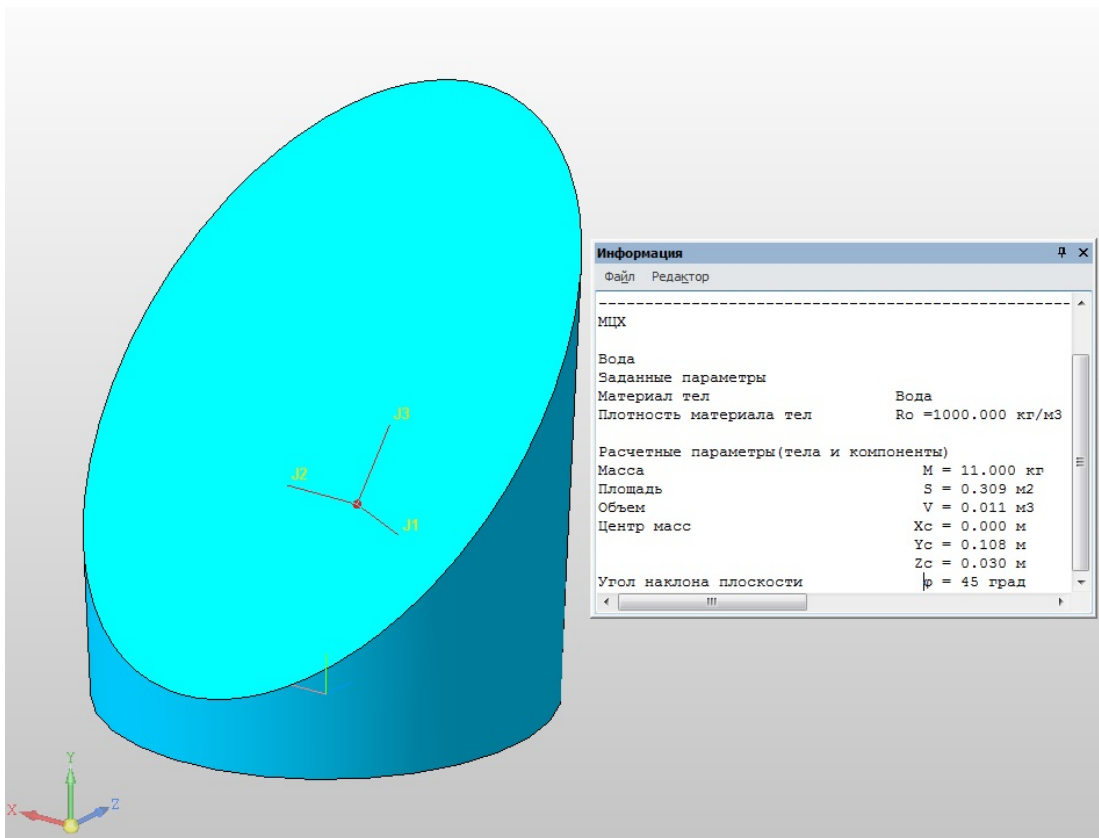


Рисунок 2.21 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\varphi = 45^\circ$

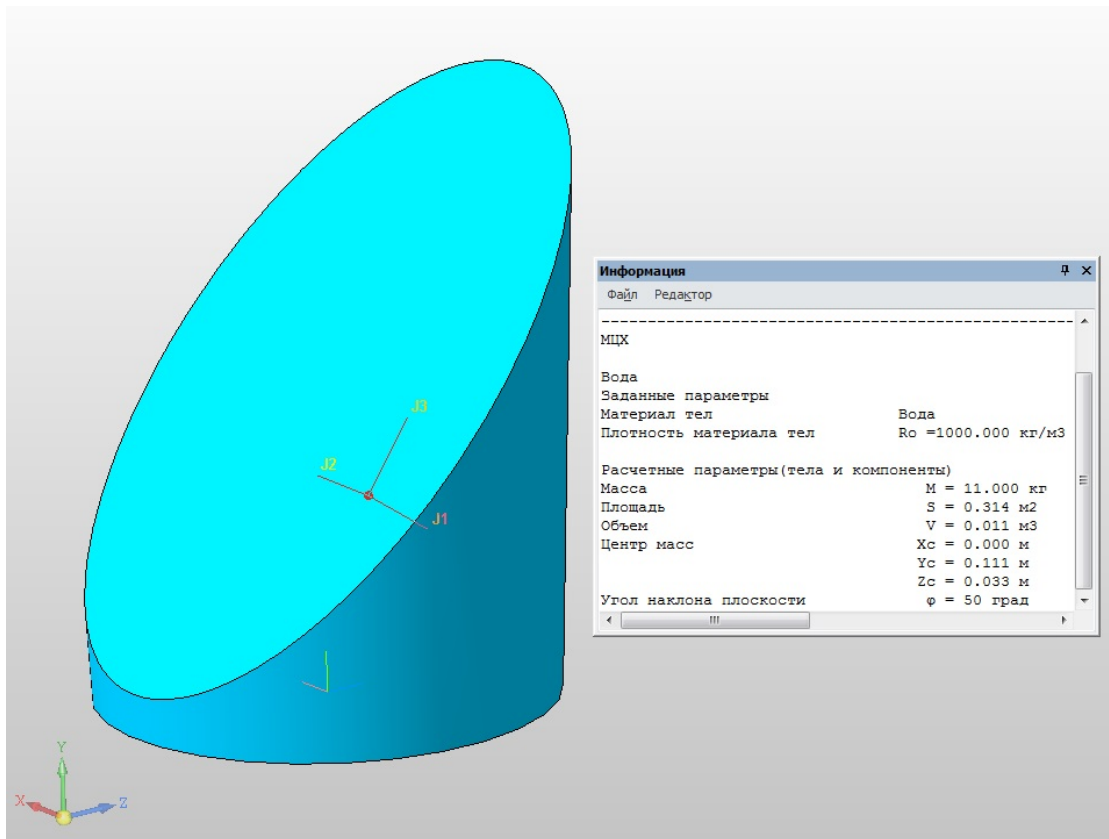


Рисунок 2.22 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\phi = 50^\circ$

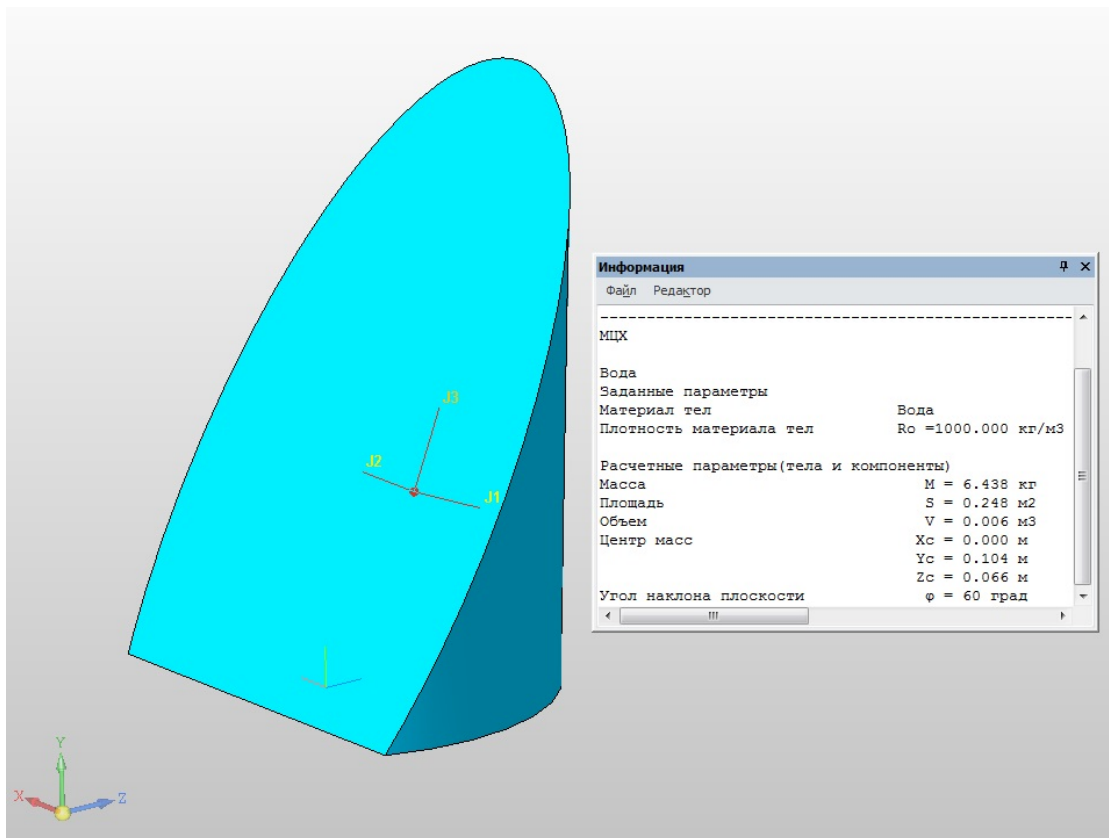


Рисунок 2.23 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\phi = 60^\circ$

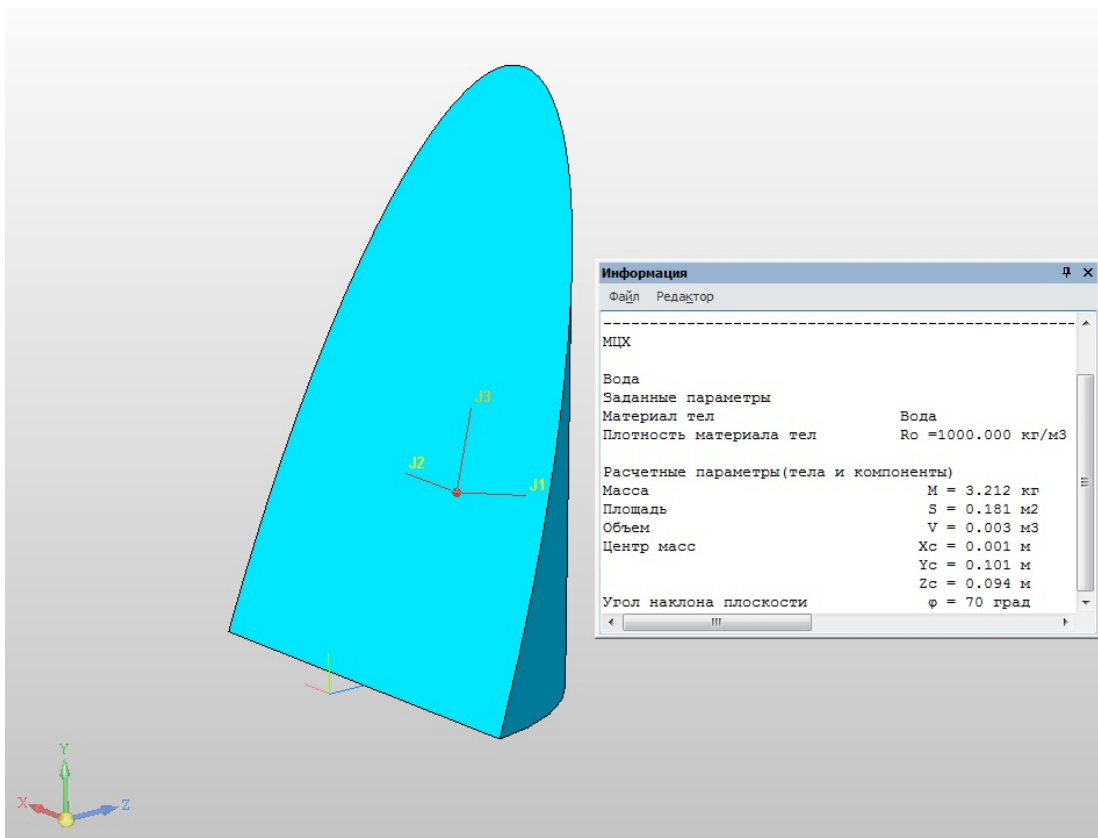


Рисунок 2.24 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\phi = 70^\circ$

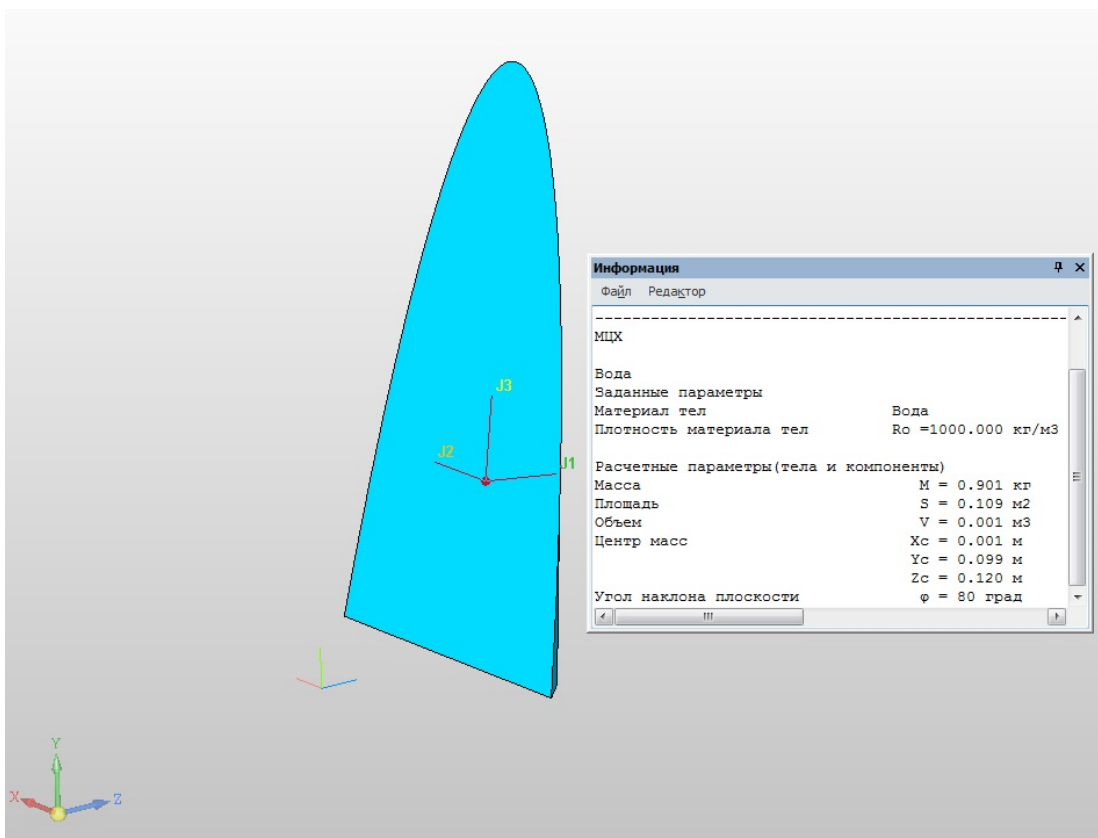


Рисунок 2.25 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\phi = 80^\circ$

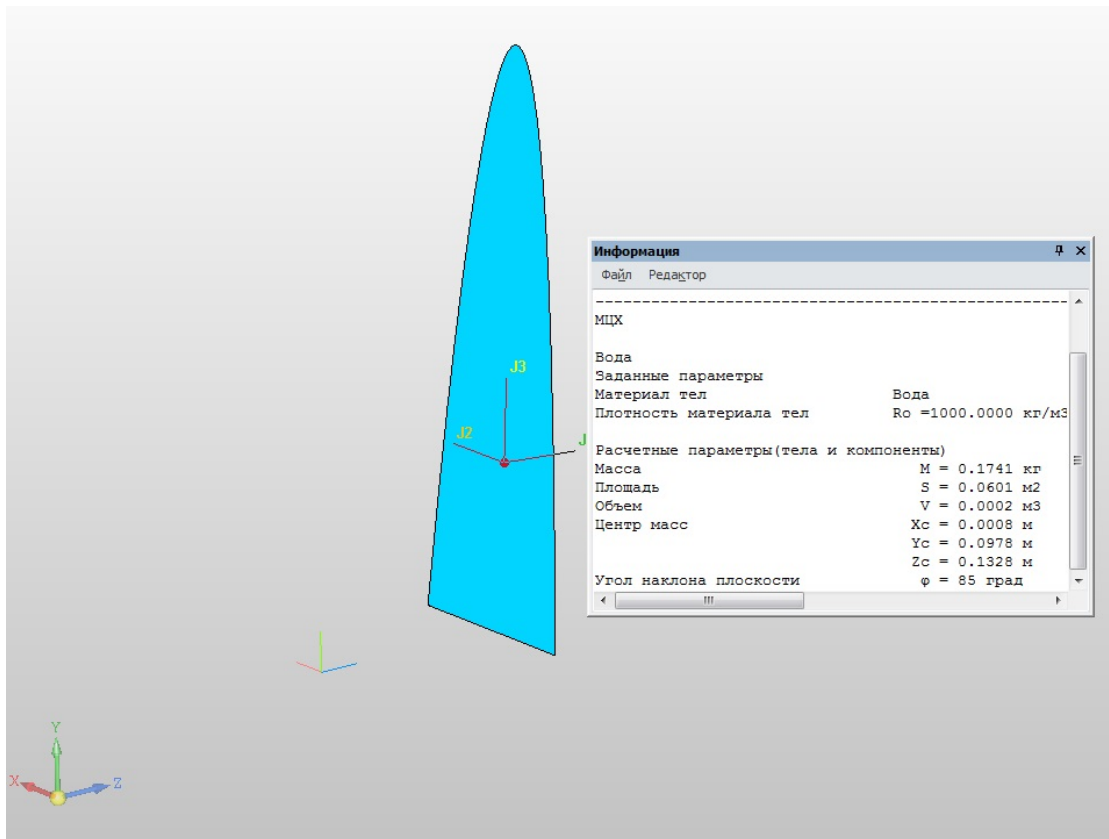


Рисунок 2.26 – Форма рідини в ковші при його куті нахилу $\phi = 85^\circ$

Виходячи з розрахунків виконаних по тривимірній моделі форми рідини при різних кутах нахилу ковша маємо:

для кута $\phi = 0^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,011\text{м}^3$	$Z_c = 0\text{м}$	$Y_c = 0,093 \text{ м}$
для кута $\phi = 10^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,011\text{м}^3$	$Z_c = 0,005 \text{ м}$	$Y_c = 0,093 \text{ м}$
для кута $\phi = 20^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,011\text{м}^3$	$Z_c = 0,011 \text{ м}$	$Y_c = 0,095 \text{ м}$
для кута $\phi = 30^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,011\text{м}^3$	$Z_c = 0,017 \text{ м}$	$Y_c = 0,098 \text{ м}$
для кута $\phi = 40^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,011\text{м}^3$	$Z_c = 0,025 \text{ м}$	$Y_c = 0,103 \text{ м}$
для кута $\phi = 45^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,011\text{м}^3$	$Z_c = 0,030 \text{ м}$	$Y_c = 0,108 \text{ м}$
для кута $\phi = 50^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,011\text{м}^3$	$Z_c = 0,033 \text{ м}$	$Y_c = 0,111 \text{ м}$
для кута $\phi = 60^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,006\text{м}^3$	$Z_c = 0,066 \text{ м}$	$Y_c = 0,104 \text{ м}$
для кута $\phi = 70^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,003\text{м}^3$	$Z_c = 0,094 \text{ м}$	$Y_c = 0,101 \text{ м}$
для кута $\phi = 80^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,001\text{м}^3$	$Z_c = 0,120 \text{ м}$	$Y_c = 0,099 \text{ м}$
для кута $\phi = 85^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0,0008\text{м}^3$	$Z_c = 0,133 \text{ м}$	$Y_c = 0,099 \text{ м}$
для кута $\phi = 90^\circ \rightarrow V_{\text{води}} = 0 \text{ м}^3$	$Z_c = 0 \text{ м}$	$Y_c = 0 \text{ м}$

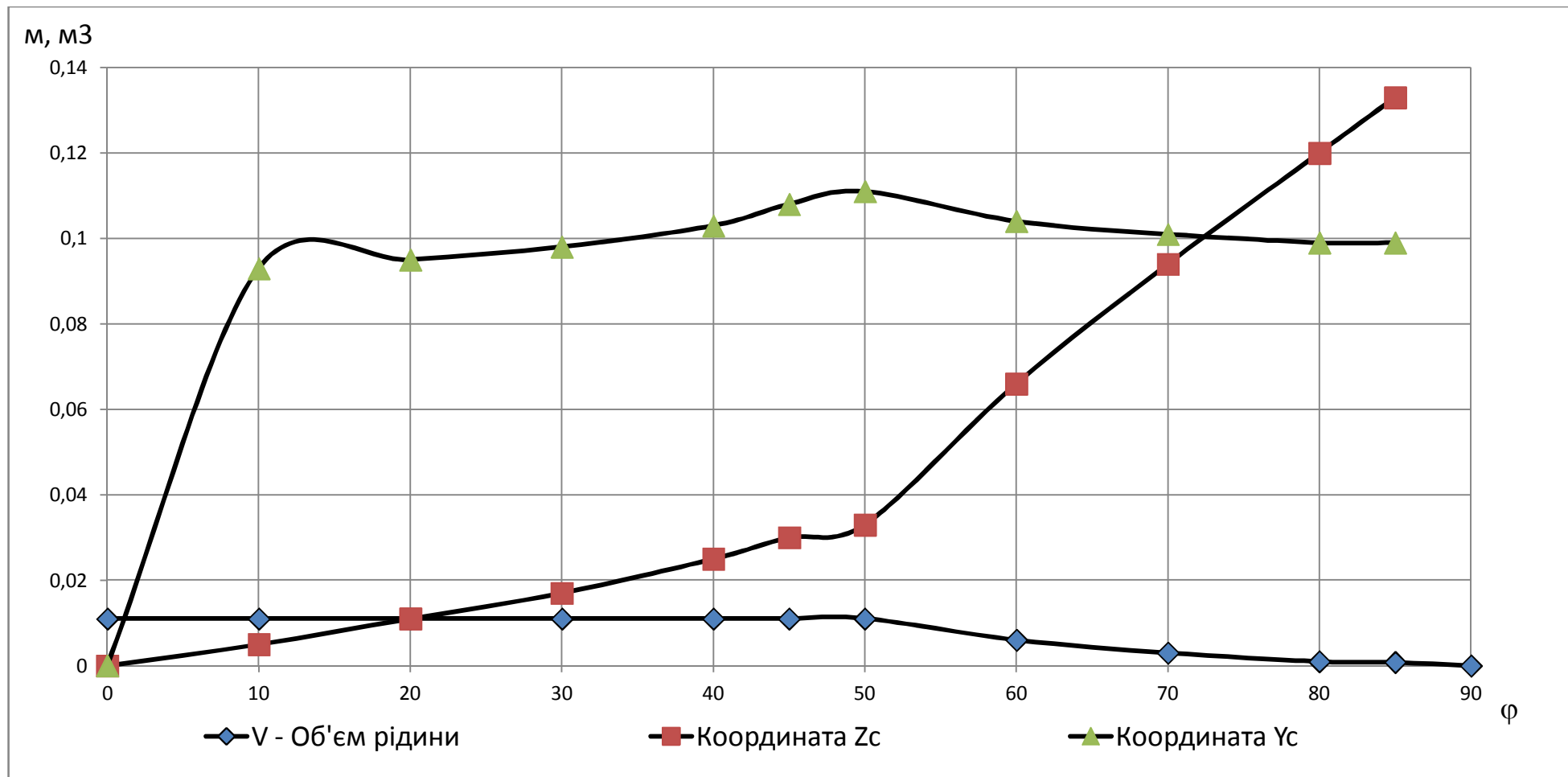


Рисунок 2.27 - Графік зміни об'єму і координат центру ваги рідини в ковші залежно від його кута нахилу.

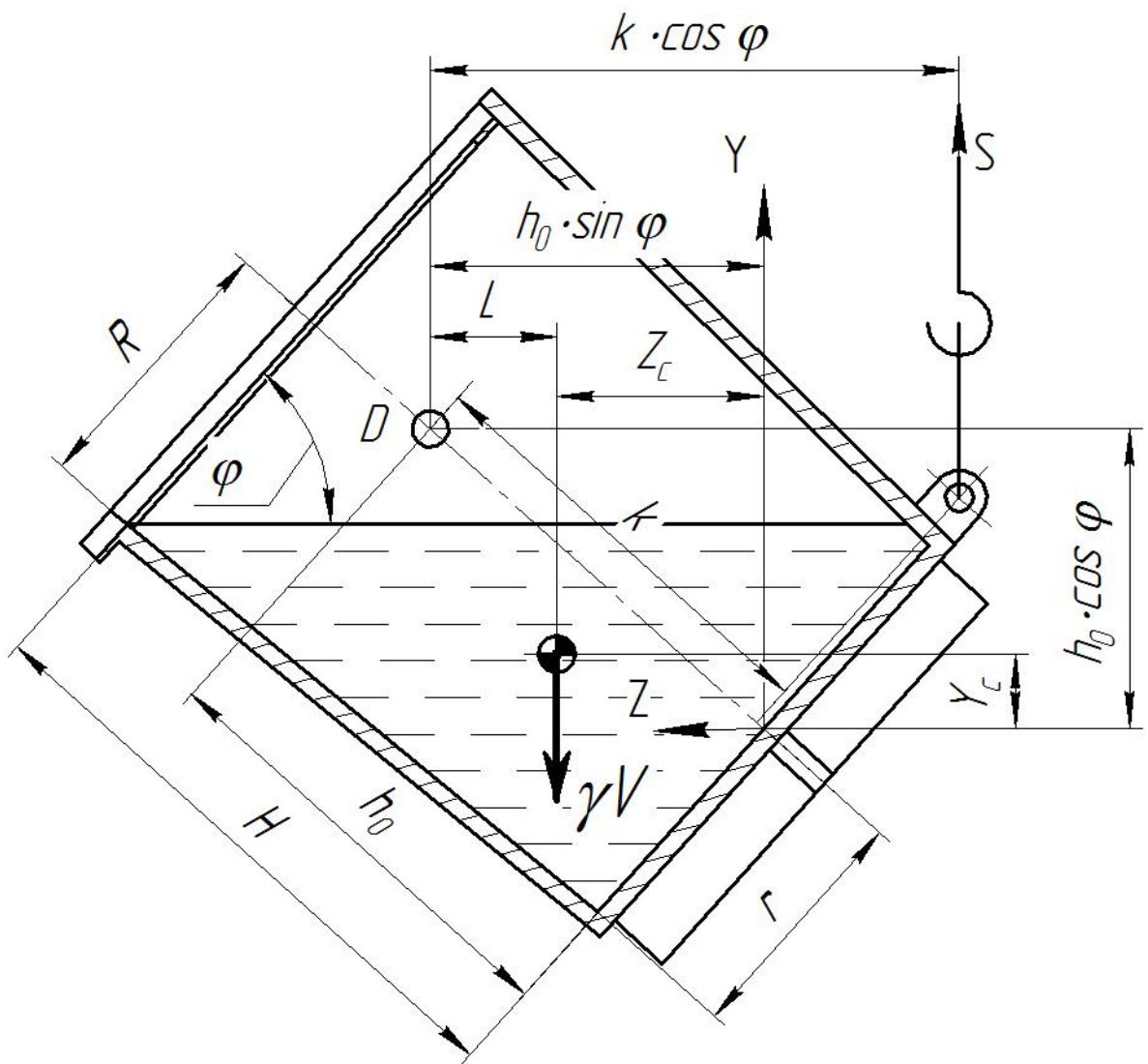


Рисунок 2.28 - Розрахункова схема до визначення моменту від рідини в ковші для кожного кута нахилу.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків моментів і зусиль у канаті.

Кут нахилу ковша φ°	Об'єм рідини в ковші, $V, \text{ м}^3$	Координати центру ваги рідини в ковші		Момент від ваги ковша $M_k, \text{ Н}\cdot\text{м}$	Момент від ваги рідини $M_p, \text{ Н}\cdot\text{м}$	Сумарний момент $M, \text{ Н}\cdot\text{м}$	Зусилля в канаті від ваги порожнього ковша $S_k, \text{ Н}$	Зусилля в канаті від ваги рідини $S_p, \text{ Н}$	Зусилля в канаті від ваги ковша з рідиною $S, \text{ Н}\cdot\text{м}$
		$Z_c, \text{ м}$	$Y_c, \text{ м}$						
10	0,011	0,005	0,093	1,736	4,87	6,602	1,26	3,52	4,78
20	0,011	0,011	0,095	3,420	9,58	13,003	4,87	13,66	18,53
30	0,011	0,017	0,098	5,000	14,01	19,008	10,42	29,18	39,60
40	0,011	0,025	0,103	6,428	18,01	24,433	17,22	48,22	65,44
45	0,011	0,03	0,108	7,071	19,80	26,875	20,83	58,35	79,18
50	0,011	0,033	0,111	7,660	21,45	29,115	24,45	68,48	92,93
60	0,006	0,066	0,104	8,660	13,18	21,844	31,25	47,57	78,82
70	0,003	0,094	0,101	9,397	7,09	16,492	36,79	27,78	64,57
80	0,001	0,12	0,099	9,848	2,39	12,239	40,41	9,81	50,22
85	0,0008	0,133	0,099	9,962	1,90	11,861	41,35	7,88	49,23
90	0	0	0	10,000	0	10,000	41,67	0,00	41,67

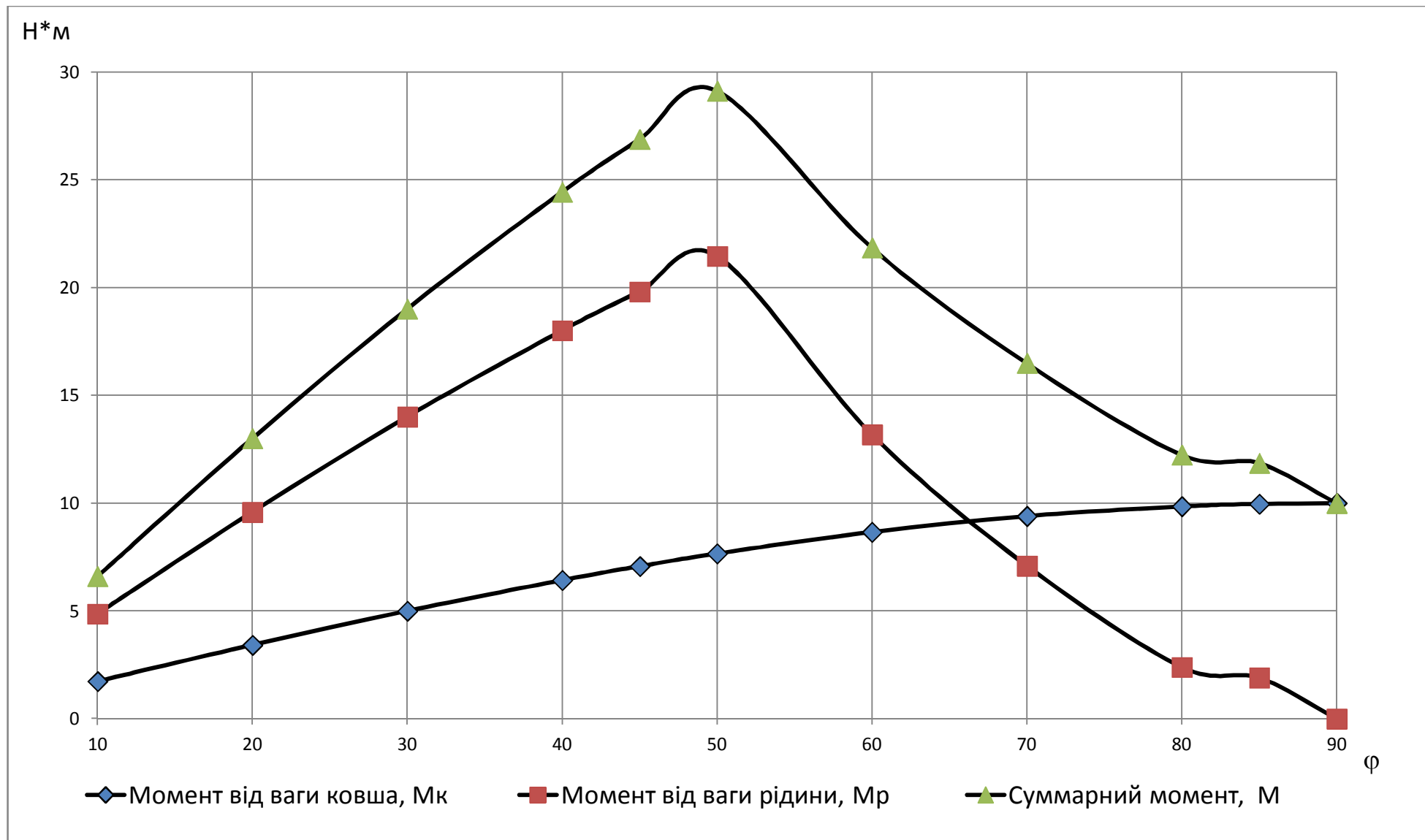


Рисунок 2.29- Графік зміни моментів залежно від кута нахилу моделі ковша.

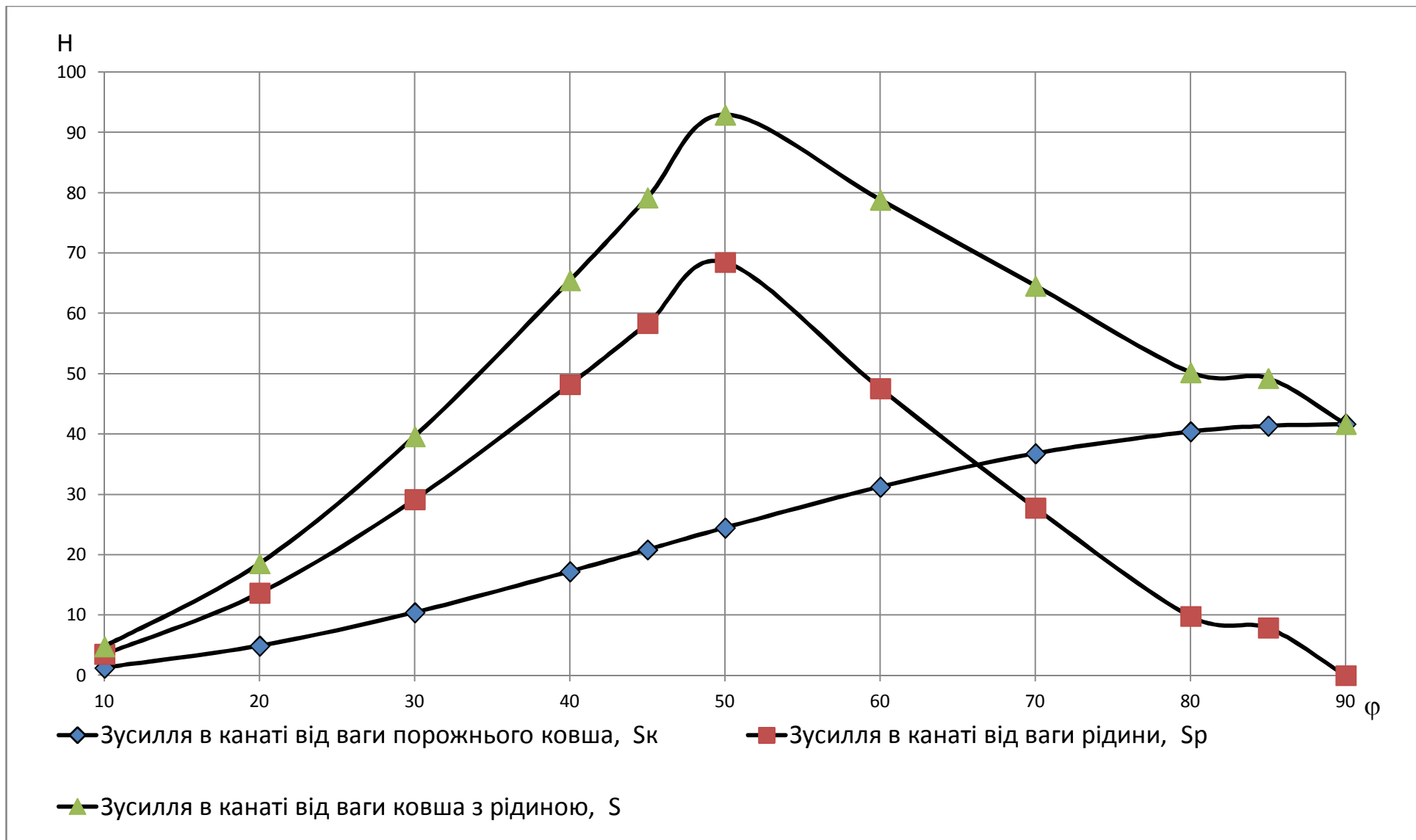


Рисунок 2.30 - Графік зміни зусилля в канаті залежно від кута нахилу моделі ковша.

2.9 Порядок проведення експерименту

1. З'єднуємо мостову схему тензометричного сило вимірювача для визначення зусиль у канаті дротовими датчиками з обчислювально-вимірювальним комплексом МІС-212.

2. Налаштовуємо обчислювально-вимірювальний комплекс МІС-212 і програму Recorder-3.0.5.17b на запис по першому каналу.

Балансуємо міст сило вимірювача й виконуємо його тарування. Тарування датчика виконане послідовним навантаженням вантажами відомої маси із записом у програму Recorder-3.0.5.17b розділ «Калібрування каналу №1» (рисунок 2.31).

3. Зробивши зовнішній огляд установки, переконавшись у її справності, подаємо напругу на пульт керування . Виконаємо пробні включення (без навантаження) механізму підйому й переміщення головного й допоміжного візка розливочного крана.

4. Заливаємо в ківш 11 літрів води (50% його об'єму).

5. Включаємо привод головного візка на опускання й підйом.

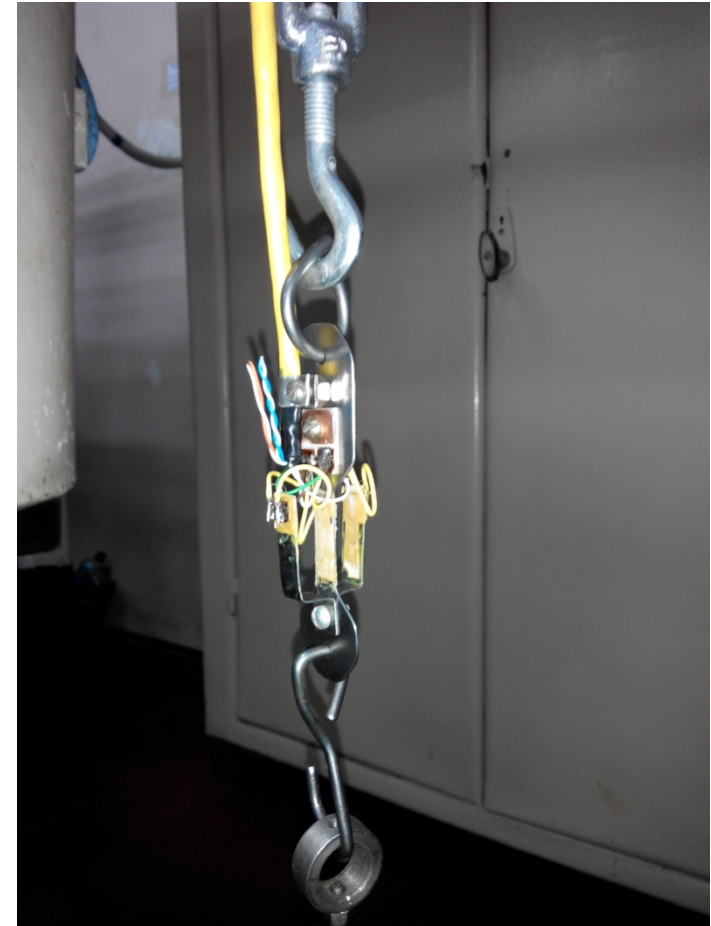
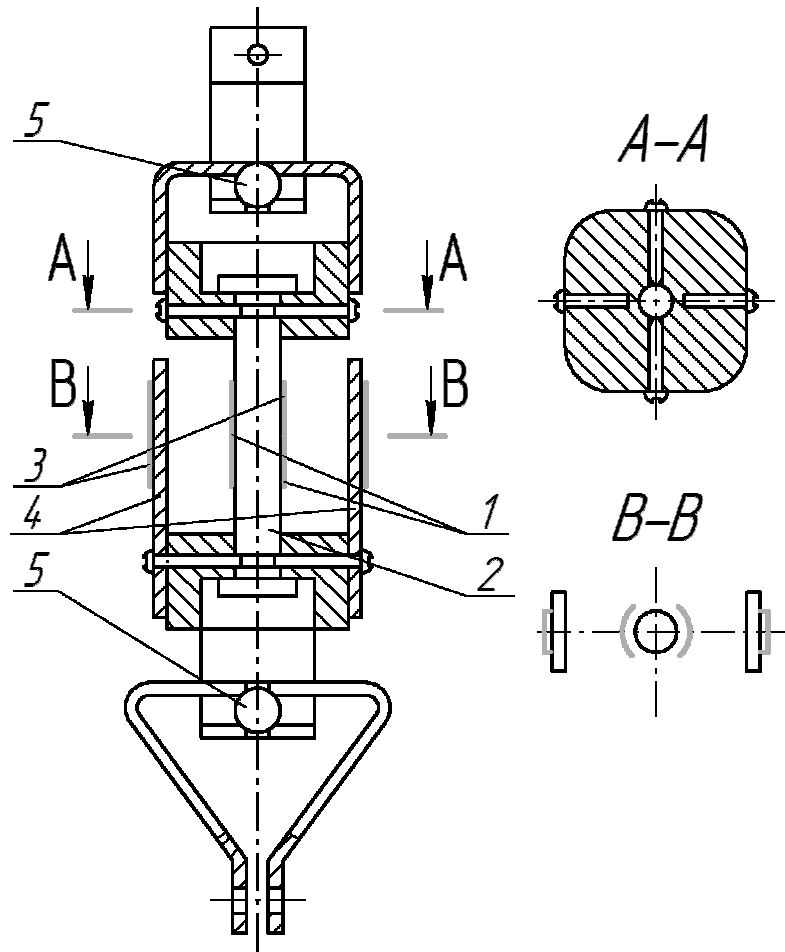
6. Виконаємо запис наступних діаграм:

- діаграма зусилля в канаті при нахилі ковша з рідиною (рисунок 2.32);
- діаграма зусилля в канаті при поверненні порожнього ковша (рисунок 2.33);
- діаграма зусилля в канаті при нахилі порожнього ковша (рисунок 2.34);

7. Відключити установку й пульт керування.

8. Подальшу обробку файлів з діаграмами виконуємо в програмному комплексі Winpos-2.1.0.6-го з одержанням зусиль у канаті механізму нахилу ковша.

Шкала кутів була додана виходячи з вимірів $10^\circ = 8$ секунд.

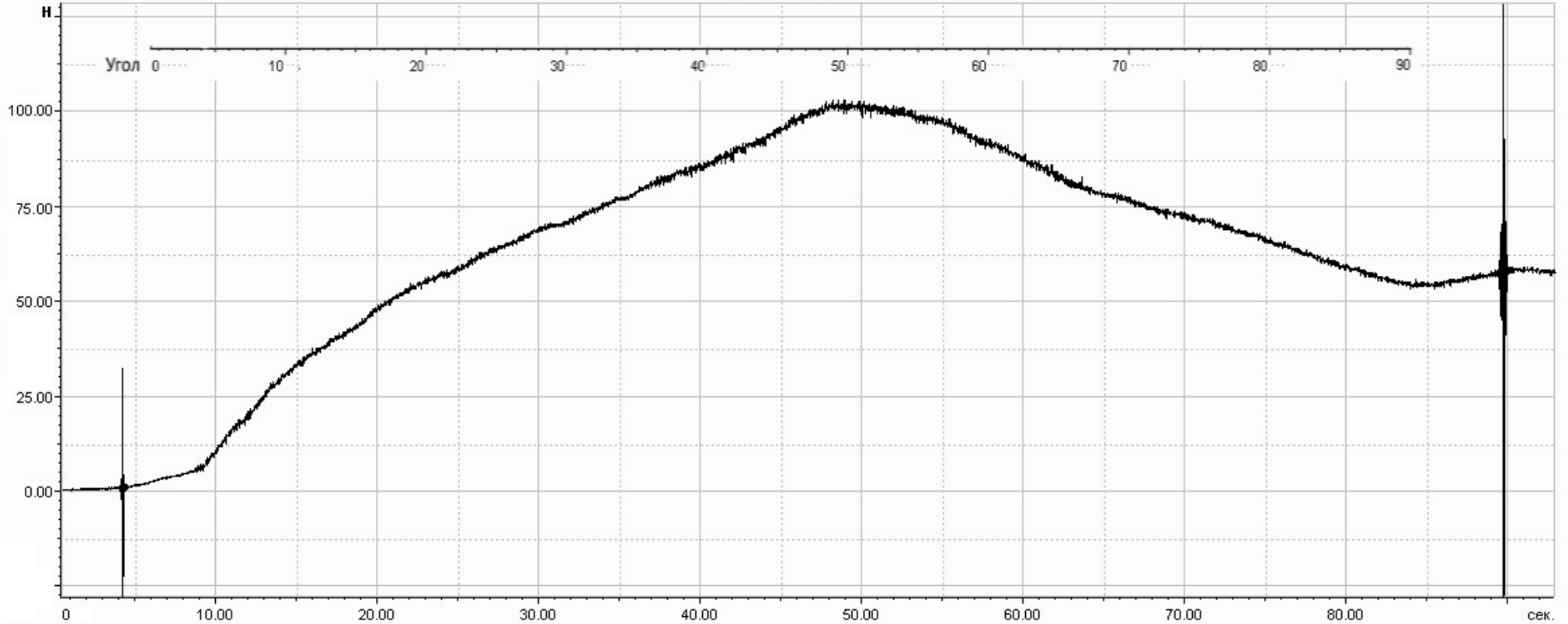


1-робочі тензOMETричні датчики, 2 – стрижень датчика,

3 - компенсаційні тензOMETричні датчики, 4 – пластини, 5 – шарніри.

Рисунок 2.31 - Устрій і фотографія сило вимірювача.

МС-212-{1-1-1}



Имя	Fs	dX	Xтек	Утек	Инд.тек	Инд.Л	Инд.П	Хнач - Хкон	Умин	Умакс	Длина
МС-212-{1-1-1}	50.03	0.019987	-	-	-	0	4624	0.538 - 92.958	-38.535	56.230	4625

Рисунок 2.32 - Діаграма зусилля в канаті при нахилі ковша з рідиною залежно від його кута нахилу.

МС-212-{ 1- 1- 1}, МС-212-{ 1- 1- 1}#1

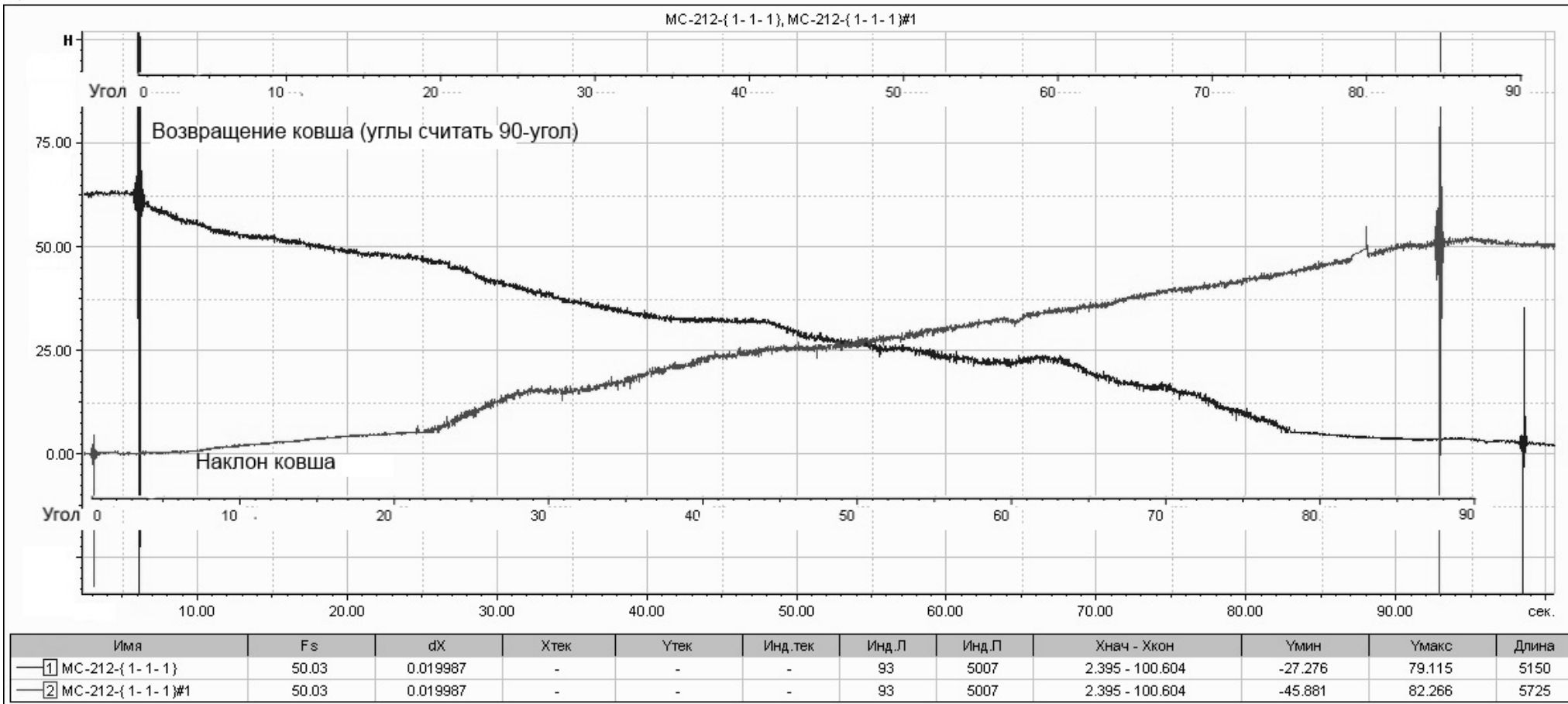


Рисунок 2.33 - Діаграма зусилля в канаті при нахилі й поверненні порожнього ковша залежно від його кута нахилу.

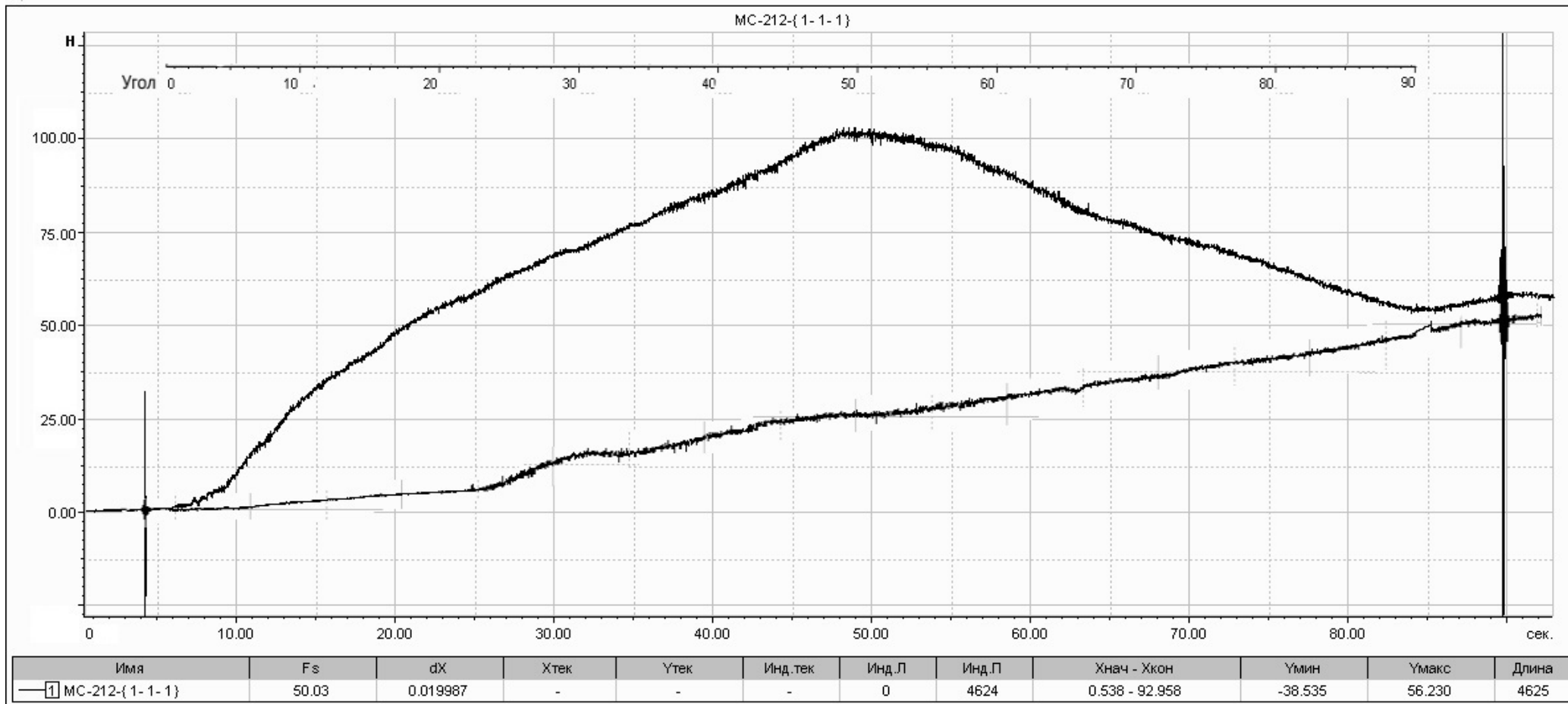


Рисунок 2.34 - Діаграма зусилля в канату при нахилі ковша з рідиною й порожнього, залежно від його кута нахилу.

2.10 Аналіз отриманих результатів роботи

Аналізуючи значення на графіках отриманих розрахунковим шляхом і значення на діаграмах бачимо їх значну схожість, що говорить про правильність обраної методики розрахунків і гарної якості проведення експериментальних вимірів.

Визначимо похибку по сумарному моменту між розрахунковим значенням по наведеній методиці й результатами з побудови твердотілої моделі для кута положення ковша в 50° .

$$M_{\text{розр}} = 23,86 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad M_{\text{моделі}} = 29,115 \text{ Н}\cdot\text{м}$$
$$\% = \frac{M_{\text{розр}} - M_{\text{моделі}}}{M_{\text{розр}}} \cdot 100 = \frac{23,86 - 29,115}{23,86} \cdot 100 = -22\%$$

Похибка величини перебуває за межами норми ($\pm 10\%$).

Така розбіжність значень викликана тим, що при розрахунках опрокидуючого моменту невраховані втрати на тертя в цапфах ковша, а також конструкція моделі ковша відрізняється від запропонованої в літературі із збільшеної ваги днища (присутній опорний майданчик).

Визначимо похибку по сумарному зусиллю в канатах між результатами побудови твердотілої моделі й експериментальними значеннями для кута положення ковша в 50° .

$$S_{\text{розр}} = 92,9 \text{ Н} \quad S_{\text{моделі}} = 100 \text{ Н}$$
$$\% = \frac{S_{\text{розр}} - S_{\text{моделі}}}{S_{\text{розр}}} \cdot 100 = \frac{92,9 - 100}{92,9} \cdot 100 = -7\%$$

Похибка величини перебуває в межах норми ($\pm 10\%$).

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті був виконаний перевірочний розрахунок механізмів мостового електричного ливарного крана, призначеного для виконання підйомно-транспортних операцій технологічного характеру в мартенівському цеху металургійного комбінату «Запоріжсталь». Метою проекту було перевірка можливості підвищення вантажопідйомності розглянутого крана з 125/32 до 140/32 т у зв'язку з реконструкцією цеху і змінами в технологічному процесі. В ході виконання дипломного проекту були вирішені наступні завдання:

- розрахований механізм головного підйому вантажу;
- розрахований механізм пересування головного візка;
- розрахований механізм пересування крана;
- розрахована економічна частина;
- розрахована дослідницька робота
- розрахований економічний ефект від модернізації крана;
- зазначені основні заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Розраховані параметри крана в незначній мірі відрізняються від заданих, але відхилення перебувають у допустимих межах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя т.1-3, 8-е изд. перераб. и доп. – М.; Машиностроение, 2001.
2. ГОСТ 13768-86. Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения 1 класса, разряда 3 из стали круглого сечения. Основные параметры витков.
3. ГОСТ 2688-80. Канат стальной двойной свивки типа ЛК-Р.
4. ГОСТ 6627-74. Основные размеры заготовок однорогих кованных и штампованных крюков для грузоподъемных машин и механизмов.
5. ГОСТ 5721-75. Подшипники роликовые радиальные сферические двухрядные. Типы и основные размеры.
6. Иванченко Ф.К. Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин. – К.: Вища школа, 1978 – 351 с.
7. Каталог редукторов и мотор-редукторов. НПО Гидромаш-1. – Киев, 2003.
8. Кузьмин А.В., Марон Ф.Л. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. – М.: Высшая школа, 1983 – 350 с.
9. Курсовое проектирование грузоподъемных машин. Руденко Н.Ф., Александров М.П. и Лысяков А.Г. – М.: Машиностроение, 1971 – 464 с.
10. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Вантажопідйомна, транспортуюча та транспортна техніка”/ Укл. О.І. Вільчек, О.М.Руднев, В.І.Глушко – Запоріжжя, ЗДТУ, 2001.

11. Подшипники качения: справочник – каталог/ Под общ. Редакцией В.Н. Нарышкина и Р.В. Коросташевского. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
12. Подъемно-транспортные машины. Атлас конструкций. Под общ. ред. М.П. Александрова. – М.: Машиностроение, 1973 – 255 с.
13. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. – Харьков: Форт, 2007.
14. Пузырьков П.И. Крюковые подвески грузоподъемных машин: Учеб. пособие. – Днепропетровск, 1999.
15. Расчеты крановых механизмов и их деталей. ВНИИПТМАШ. Изд. 3-е, перераб. и доп. М. „Машиностроение”, 1971 – 496 с.
16. Справочник по кранам т.1,2. /Под общ. ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988.
17. Стандарт підприємств СТП 15-96. Пояснювальна записка до курсових і дипломних проектів. Вимоги і правила оформлення. ЗДТУ, 1996 – 36 с.
19. Кузьмин А. В., Марон Ф. Л. Справочник по расчётам механизмов подъёмно- транспортных машин.- 2-е изд., перераб. и доп.- Мн.: Выш. шк., 1983.- 350 с., ил.
19. Жук А. Я., Желябина Н. К. Методические указания: Единые правила выполнения конструкторской документации в вузе.- Запорожье: Изд-во ЗГИА, 2001. – 123 с.
20. Жук А. Я., Малишев Г. П. Методичні вказівки до виконання магістерської роботи наукового спрямування (спеціальність 8.090218 «Металургійне обладнання»).- Запоріжжя, 2004. – 72 с.

21. Кожемякін Г.Б. Охрана праці та технологічна безпека, вказівки для виконання магістерської роботи, Запоріжжя, ЗДІА, 2012-48с
22. Охрана труда в ЧМ / Бринза В.Н , Зиньковский М.М - М.: Металлургия, 1982-384с.
23. Роздорожний А.А. Охрана труда и производственная безопасность - М : Экзамен, 2006 -520 с
24. <http://www.dnор.kiev.ua> Офіційний сайт Государственная служба України по вопросам труда.
25. Организация и планирование предприятий черной металлургии. Метс А.Ф., Штец К.А., Бельгольский Б.П. М.: Металлургия, 1986 – 560с.
26. Л.Д. Плоткін, О.К. Янушевич. Організація в планування виробництва на машинобудівному підприємстві. – Львів: Світ, 1996 – 250с.
27. Временное положение о техническом обслуживании и ремонтах (ТОиР) механического оборудования предприятий системы Министерства черной металлургии СССР / ВНИИОчермет, 1983 – 389с.
28. Організаційна та економічна частини дипломного проекту. Методичні вказівки до виконання дипломних робіт для студентів ЗДІА спеціальності 7.090218 “Металургійне обладнання” / Укл.: К.В. Таратута, О.М. Попов. – Запоріжжя, 2006. – 51с.