

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра: „Матеріалознавство та ливарне виробництво”

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою МЛІВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр Кузик

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему:

**“Конструювання і розрахунок багатопозиційної
карусельно-кокільної машини моделі 4979К”**

**“Design and calculation of a multi-position carousel-chill
machine model 4979K”**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ПМ(ОЛ)-21

спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

_____ Балабанов О.А.

“ ____ ” _____ 2025 р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____ Віктор Ломакін

“ ____ ” _____ 2025 р.

Рецензент _____

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет _____ механіко-технологічний
Кафедра _____ матеріалознавства та ливарного виробництва
Рівень вищої освіти _____ бакалавр
Галузь знань _____ прикладна механіка
Спеціальність _____ 131 – Прикладна механіка
Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма
_____ 131 – Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри

“ _____ ” _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Балабанов Олександр Андрійович

прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: “Конструювання і розрахунок багатопозиційної карусельно-кокільної машини моделі 4979К”, затверджена наказом по університету №9-02 від 2.01.2025 р.
 2. Керівник роботи: Ломакін Віктор Миколайович, к.т.н., доцент
 3. Строк подання роботи до захисту: _____ .06.2025 р.
 4. Мета кваліфікаційної роботи: виконати конструювання багатопозиційної карусельно-кокільної машини моделі 4979К.
- Завдання роботи: проектний розрахунок багатопозиційної карусельно-кокільної машини моделі 4979К.
- Креслення: загальний вид каруселі кокільної машини, редуктор-стійка, гідравлічна схема привода запирання кокілів.

5. Консультанти по роботі із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Огляд кокільних верстатів і машин	Ломакін В. М.		
Конструювання і розрахунок багатопозиційної карусельно-кокільної машини моделі 4979К	Ломакін В. М.		
Креслення	Ломакін В. М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд кокільних верстатів і машин		
2.	Конструювання і розрахунок багатопозиційної карусельно-кокільної машини моделі 4979К		
3.	Креслення		
5.	Оформлення пояснювальної записки		
6.	Оформлення рецензії		
7.	Захист кваліфікаційної роботи		

Дата видачі завдання:

“ ” _____ 2025 р.

Підпис керівника

Ломакін В. М.

(прізвище та ініціали)

Підпис здобувача

Балабанов О. А.

(прізвище та ініціали)

Анотація

стор. 42, рис. 1, табл. 7, бібліографічних назв 12

Кокіль, багатопозиційна машина, двигун, муфта, циліндричний редуктор, редуктор-стійка, продуктивність, гідропривод

Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему: “Конструювання і розрахунок багатопозиційної карусельно-кокільної машини моделі 4979К” складається із трьох розділів.

В першому розділі виконано огляд кокільних верстатів і багатопозиційних машин. Згідно з завданням сформульовано мету і задачі кваліфікаційної роботи.

В другому розділі роботи наведено опис конструкції і процесу роботи багатопозиційної кокільної машини моделі 4979К.

В третьому розділі роботи наведено проектний розрахунок кокільної машини.

Annotation

Page 42, fig. 1, table. 7, bibliographic titles 12

Metal casting mold, multi-position machine, motor, coupling, cylindrical gear reducer, reducer- rack, performance, hydraulic drive

Qualification work at the first (bachelor's) level of higher education on the topic: "Design and calculation of a multi-position carousel-chill machine model 4979K" consists of three sections.

In the first section there is an overview of the machine tools and positioning machines. The tasks and tasks of the qualified robot are formulated in accordance with the instructions.

The second section contains a description of the design and operation of the multi-position chill molding machine model 4979K.

The third section of the work presents the design calculation of the chill machine.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	8
1. Огляд кокільних верстатів та багатопозиційних машин	9
1.1. Технологічні особливості лиття в кокіль	9
1.2. Кокільні верстати	10
1.3. Карусельні кокільні машини	11
1.4. Кокільні конвеєри	14
1.5. Мета і завдання кваліфікаційної роботи	14
2. Конструкція та принцип роботи карусельної кокільної машини моделі 4979К	15
3. Конструювання і проектний розрахунок карусельно-кокільної машини моделі 4979К	17
3.1. Розрахунок основних параметрів процесу	17
3.2. Вибір та розрахунок муфт приводу	21
3.2.1. Призначення муфт	21
3.2.2. Вибір типу муфт	22
3.2.3. Розрахунок крутного моменту на муфтах	22
3.3. Розрахунок вхідного валу редуктора	23
3.4. Розрахунок валу редуктора-стійки	24
3.5 Розрахунок гідравлічного привода кокільної машини моделі 4979К	24
3.5.1. Початкові дані для розрахунку гідропривода	25
3.5.2. Розрахунок діаметра гідроциліндрів	25
3.5.3. Розрахунок товщини стінок гідроциліндрів	26
3.5.4. Розрахунок потужності гідропривода і подачі мастила. Вибір помпи	27
3.5.5. Вибір розподільвачів і фільтра	29
3.5.6. Розрахунок гідроліній	30
3.5.7. Розрахунок втрат тиску в гідролінії	32
3.5.8. Розрахунок ККД гідропривода	35

3.5.9. Розрахунок на міцність вузлів та деталей машини	36
3.5.10. Тепловий розрахунок гідросистеми	38
Висновок	40
Список літератури	42
Додатки	43

ВСТУП

В сучасних умовах розвитку промисловості, коли підвищення ефективності виробництва та якості продукції є ключовими факторами конкурентоспроможності, особливе значення набуває вдосконалення технологічних процесів у сфері ливарного виробництва. Зокрема, ливарні цехи кольорового литва, насамперед алюмінієвого, відіграють важливу роль у забезпеченні машинобудування, електротехніки, автомобілебудування та інших галузей високоякісними деталями складної форми. Литво алюмінієвих сплавів дозволяє отримувати легкі, міцні та корозійностійкі вироби з високою точністю, що робить цей напрямок одним із найперспективніших у ливарному виробництві.

Для України, де ливарне виробництво історично є важливою складовою промислової бази, розвиток технологій кольорового литва має безпосереднє значення для національної економіки. У сучасних умовах, коли країна потребує модернізації промисловості, підвищення енергоефективності та зниження собівартості продукції, особливого значення набуває впровадження механізації та автоматизації виробничих процесів у ливарних цехах.

Одним із найефективніших рішень у цьому напрямі є використання карусельних кокільних машин — автоматизованого обладнання, що забезпечує безперервний цикл литва алюмінієвих сплавів у металеві форми (кокілі) з високим рівнем точності та повторюваності. Такі машини дозволяють значно підвищити продуктивність праці, зменшити частку ручних операцій, оптимізувати використання ресурсів та покращити умови праці персоналу. Їх застосування позитивно впливає як на економічні показники окремих підприємств, так і на загальну динаміку розвитку ливарної галузі України.

В бакалаврській роботі розглянуто сучасні підходи до механізації та автоматизації процесів лиття в ливарних цехах кольорового литва, зокрема алюмінієвого, а також детально проаналізовано будову, принцип роботи й переваги використання карусельних кокільних машин у цьому контексті [1, 2].

1. ОГЛЯД КОКІЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ТА БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ МАШИН

Кокільні верстати поділяються на універсальні – одно- двох- і трьохпозиційні, Карусельні машини – 4-6-8-12-16- позиційні та спеціальні. Спеціальні двох-, трьохпозиційні та карусельні машини часто спеціалізовані і призначені для виготовлення в масовому виробництві відливок одного типу, таких, наприклад, як поршні двигунів внутрішнього згорання, кришки електродвигунів тощо.

1.1. Технологічні особливості лиття в кокіль

Лиття в кокіль — це процес формування металевих відливок шляхом заливання розплавленого металу в багаторазову металеву форму, яка називається кокілем. Ця технологія забезпечує високу якість поверхні, точність розмірів і структурну однорідність відливок.

Однопозиційні кокільні верстати дають змогу виготовляти одну деталь за цикл і є ефективними при дрібносерійному та серійному виробництві.

В якості матеріалів для виготовлення кокіля використовуються:

- сірий чавун – широко застосовується завдяки простоті обробки та низькій вартості. Має обмежену термостійкість, тому застосовується для невисокотемпературних сплавів;
- високоміцний чавун – має кращі механічні властивості, довший термін служби;
- леговані сталі (наприклад, 4Х5МФС, 5ХНМ, ХВГ) — забезпечують високу зносостійкість та термостійкість; використовуються при тривалому циклі лиття;
- алюмінієві сплави – іноді застосовуються у спеціальних конструкціях або змінних вставках кокіля, завдяки високій теплопровідності;
- мідні сплави (бронзи, латуні) — використовуються рідко, переважно у

випадках, коли важлива висока теплопровідність, але витримують менше циклів.

При литті в кокіль застосовуються: алюмінієві сплави (АК9, АК12), мідні сплави (латуні, бронзи), магнієві сплави, чавуни та сталі.

Загалом для такого способу характерним є скорочення циклу лиття за рахунок швидкодії приводів та ефективного охолодження. Автоматизоване керування температурою кокіля дозволяє оптимізувати технологічних параметрів (час заливки, температура, швидкість охолодження). Це можливо забезпечити з використанням багатофункціональних верстатів з ЧПК.

1.2. Кокільні верстати

В Україні налагоджено випуск кокільних верстатів на базі підприємств, таких як ТОВ “Литмаш”, ПрАТ “Укрверстат”, ТОВ “МеталТех” (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики однопозиційних кокільних верстатів

Модель	Виробник	Тип приводу	Макс. розмір відливки (мм)	Ключові характеристики
КВ-1000	ТОВ 'Литмаш'	Гідропривід	500×400×300	ЧПК, висока точність
КВ-800	ПрАТ 'Укрверстат'	Пневмопривід	400×300×250	Швидкий цикл, автоматична заливка
КВ-600	ТОВ 'МеталТех'	Комбінований	350×250×200	Енергоефективність, мобільність
КВ-400	ТОВ 'Литмаш'	Гідропривід	300×200×150	Компактність, зменшене енергоспоживання
ЛК-350	—	Пневмопривід	250×150×100	Базова модель для навчання та малого виробництва

Технологія лиття в кокіль на однопозиційних верстатах є однією з найперспективніших для масового виробництва деталей зі складною геометрією. Вона поєднує точність, продуктивність і автоматизацію. Використання пневмо-

та гідроприводів, впровадження ЧПК та автоматичних систем охолодження сприяє підвищенню ефективності виробництва та зниженню собівартості продукції.

Українські виробники пропонують широкий асортимент кокільних верстатів, здатних задовольнити потреби як великих, так і малих ливарних підприємств.

Ці верстати розділяють в залежності від розташування в просторі площини роз'єму кокіля і металевих стержнів на машини для отримання відливків з горизонтальною і вертикальною площинами роз'єму, а також зі змінним положенням площини роз'єму.

Для переміщення робочих частин машини – рухомих плит, механізмів видалення стержнів, виштовхування відливків, як правило використовують гідравлічний привід, який здатний забезпечити значні зусилля, плавність переміщення, широке регулювання швидкості та зусиль, безшумність роботи, компактність машини.

Універсальні одно позиційні кокільні машини призначені для отримання відливків із кольорових та чорних сплавів в кокілях нормального ряду з розмірами від 250x200 мм до 1000x800 мм в плані. Гамма машин включає наступні типи: I – з вертикальним роз'ємом кокіля, з однією рухомою плитою; II – з вертикальним роз'ємом кокіля, з двома рухомими плитами і піддоном; III – з вертикальним роз'ємом кокіля, з двома рухомими плитами, піддоном та механізмом верхніх стержнів; IV – з вертикальним роз'ємом кокіля, з двома рухомими плитами, піддоном з нижніми та торцьовими стержнями (п'ять рухомих плит). Ці машини забезпечують широкі можливості отримання відливків складної конфігурації.

1.3. Карусельні кокільні машини

Карусельні кокільні машини є автоматизованим обладнанням для серійного та масового лиття металевих виробів. Вони базуються на ротаційному принципі

подачі кокilів у позиції заливання, охолодження та виймання виробу. На відміну від однопозиційних, карусельні машини дозволяють одночасно обробляти кілька відливок, що значно підвищує продуктивність.

Карусельна кокільна машина складається з обертової платформи (ротору), на якій розміщено від 4 до 12 робочих позицій із кокilями. Платформа послідовно переміщує кожен кокіль по заданих технологічних позиціях: попередній нагрів, заливання, охолодження, розкриття, виймання. Кожна позиція працює синхронно, що забезпечує безперервність виробничого процесу. Завдяки цьому досягається висока продуктивність — до 120 відливок на годину.

Привід повороту платформи у більшості випадків застосовується електромеханічний редукторний привід з кроковим переміщенням. Деякі модифікації використовують гідравлічний поворотний механізм з прецизійним контролем зупинки.

Важливе значення має точна фіксація платформи у робочих положеннях для уникнення перекосів та збоїв.

Приводи запирання кокilів залежно від моделі використовуються пневмоприводи або гідроприводи для запирання та розкриття кокilів. Гідроприводи забезпечують більший зусилля стискання та плавність руху.

- Пневмоприводи дешевші, але менш потужні.

Основні виробники карусельних кокільних машин в Україні є:

- ТОВ «Ливарні Машини» (м. Дніпро)

- ПрАТ «Київлітмаш» (м. Київ)

- ТОВ «Індустрія Тех» (м. Харків)

Карусельні кокільні машини забезпечують високу ефективність за рахунок одночасного виконання декількох операцій. Їх конструкція дозволяє інтегрувати сучасні приводи повороту та запирання кокilів, що значно покращує надійність і повторюваність процесу лиття. В Україні представлені декілька виробників, що випускають різноманітні модифікації таких машин. Кокільні конвеєри, у свою чергу, є перспективним напрямом для масштабного безперервного виробництва, і можуть бути адаптовані під потреби будь-якого підприємства.

Таблиця 1.2 – Основні модифікації карусельних кокільних машин

Модель	Виробник	Кількість позицій	Тип приводу повороту	Привід запирання
ККМ-6	ТОВ «Ливарні Машини»	6	Електромеханічний	Гідравлічний
ККМ-8	ПрАТ «Київлітмаш»	8	Гідропривід	Гідравлічний
РК-10	ТОВ «Індустрія Тех»	10	Редуктор з ЧПК	Пневмопривід
МЛК-12	ТОВ «Ливарні Машини»	12	Гідравлічний з контролем	Комбінований
ККМ-4	ПрАТ «Київлітмаш»	4	Редукторний	Пневмопривід
4979К	ПрАТ «Київлітмаш»	6	Електромеханічний	Гідравлічний

Зазвичай ці машини є спеціальними і служать для масового виробництва відливків. Такі машини мають 6, 8, 12, 16 позицій. Завдяки сумісності основних операцій ці машини відрізняються високою продуктивністю.

Карусельні машини з вертикальною віссю обертання каруселі складаються із одно позиційних кокільних секцій з самостійними приводами для запирання і розкриття кокіля, виштовхування відливків. Ці секції змонтовані на столі каруселі. Стіл на каруселі може мати безперервний та пульсуючий рух. Пульсуючий рух спрощує заливку форм, нанесення на їх робочу поверхню вогнетривкого покриття, видалення відливка та інші операції. Такі машини часто використовують в складі автоматичних ливарних комплексів.

Із аналізу конструкцій кокільних машин можна зробити такі висновки:

1) Машини першого типу хоча й прості за конструкцією, але на них не можна встановлювати механізми нижніх і бокових стержнів.

2) Машини третього типу дають таку можливість, але вони складні за конструкцією, до того ж механізм верхнього стержня для виготовлення нашої номенклатури відливків, в цілому, і корпуса НШ100-3-01, зокрема, не потрібен.

3) Карусельні машини мають складну конструкцію і велику продуктивність.

4) Найбільш вигідною для виготовлення відливка корпус НШ100 НШ500 є машина другого типу. Вона відносно проста за конструкцією і дає можливість встановлювати механізми нижніх і бокових стержнів, що вимагає конструкція відливка.

1.4. Кокільні конвеєри

Кокільні конвеєри — це автоматизовані системи для безперервного переміщення кокілів вздовж виробничої лінії. Вони відрізняються від карусельних машин тим, що не обертаються навколо центральної осі, а переміщуються по прямолінійній або замкнутій траєкторії (ланцюгові, стрічкові, штовхальні системи). Вони часто використовуються на великих підприємствах для серійного або масового виробництва. Модифікації включають комбіновані установки з попереднім нагрівом, охолодженням та автоматичним вийманням відливок. Універсальність та масштабованість роблять кокільні конвеєри ідеальним рішенням для потокового виробництва.

1.5. Мета і завдання кваліфікаційної роботи

Модель 4979К багатопозиційної карусельної кокільної машини від ПрАТ «Київлітмаш» є однією з найбільш поширених в Україні. Вона оснащена електромеханічним приводом повороту та гідравлічним приводом запирання кокілів, що забезпечує високу надійність і продуктивність процесу лиття.

У відповідності із темою бакалаврської роботи прийнято:

метою роботи є конструювання багатопозиційної карусельно-кокільної машини моделі 4979К;

завдання роботи є проектний розрахунок багатопозиційної карусельно-кокільної машини моделі 4979К та виготовлення креслень загального виду каруселі, електромеханічного привода і гідравлічної схеми привода запирання кокілів.

2. КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ КАРУСЕЛЬНОЇ КОКІЛЬНОЇ МАШИНИ МОДЕЛІ 4979К

Модель 4979К відноситься до карусельних кокільних машин першого типу. На стіл каруселі (рис. 2.1) встановлено кокілі (6 шт.) з вертикальним роз'ємом.

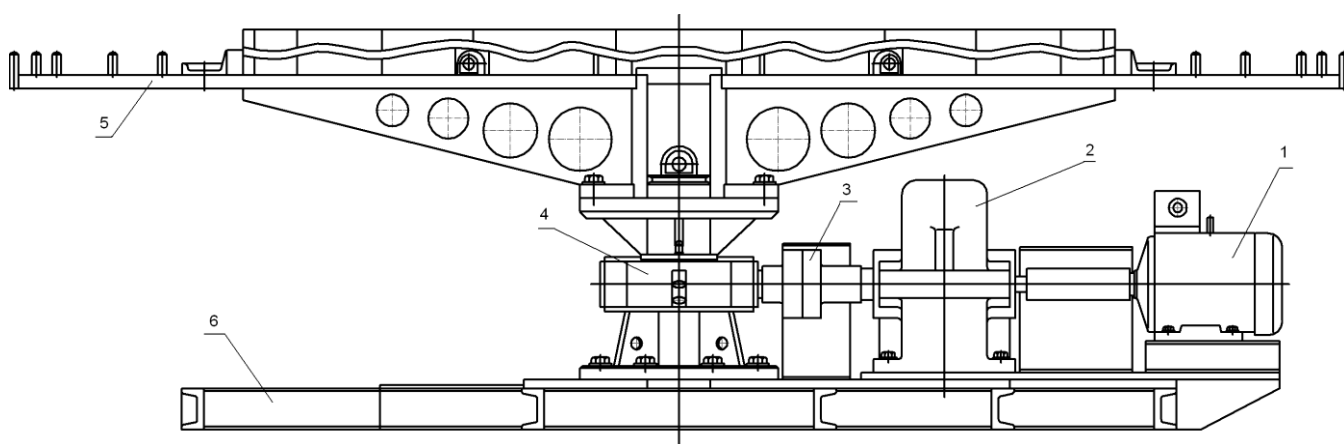


Рис 2.1. Схема карусельного столу машини

Опорним вузлом кокільної машини є основа 6, яка об'єднує всі вузли в єдине ціле та забезпечує їх взаємодію. На раму встановлені електричний двигун 1, який створює крутний момент. Крутний момент передається від двигуна через муфту до редуктора 2, далі через муфту 3 та редуктор-стійку 4, яка теж виконує роль опори до поворотного столу 5.

Працює багатопозиційна машина наступним чином. При відкненні двигуна 1 крутний момент передається через електромеханічний привод до поворотного столу 5, який в свою чергу починає обертатися. На поворотному столі розташовується 6 кокілів, з можливістю їх оперативної заміни. Обслуговування установки виконується 1 (або 2) робітником. Він виконує заливку кокілів, на відповідній позиції розкриває ливарні форми, видаляє виливок, здійснює очистку робочих поверхонь форм стиснутим повітрям за допомогою пульверизатора, після чого фарбує стінку робочої порожнини протипригарною фарбою. Після цього цикл повторюється. Кокілі змикаються і розмикаються за допомогою

гідравлічного привода. Протягом повторюваних циклів строго підтримується температурний режим металевих форм, з їх охолодженням на останній позиції до температури не нижче 150 С.

3. КОНСТРУЮВАННЯ І ПРОЕКТНИЙ РОЗРАХУНОК КАРУСЕЛЬНО-КОКІЛЬНОЇ МАШИНИ МОДЕЛІ 4979К

3.1. Розрахунок основних параметрів приводу

Електропривід використовується для забезпечення значного крутного зусилля, необхідного для здійснення обертального руху, який приводить в рух поворотний стіл машини.

Початкові данні для розрахунку:

- потужність на маточині редуктора-стійки: $P=3$ кВт
- частота обертів вихідного валу редуктора-стійки: $n=1$ об/хв
- ККД редуктора-стійки: $\eta_{рс}=0,89$
- ККД муфти: $\eta_{муф}=0,99$
- ККД редуктора: $\eta_{ред}=0,9$
-

1) Визначаємо потужність електродвигуна

$$P_{дв} = \frac{P}{\eta_{рс} \cdot \eta_{муф} \cdot \eta_{ред}}; \quad (3.1)$$

$$P_{дв} = \frac{3}{0,89 \cdot 0,99 \cdot 0,9} = 3,78 \text{ кВт.}$$

2) Потужність на вхідному валу редуктора – стійки;

$$P_{рс} = \frac{P}{\eta_{рс}}; \quad (3.2)$$

$$P_{рс} = \frac{3}{0,89} = 3,37, \text{ кВт.}$$

3) Потужність на вихідному валу редуктора;

$$P_{редвих} = \frac{P_{pc}}{\eta_{муф}}; \quad (3.3)$$

$$P_{редвих} = \frac{3,37}{0,99} = 3,40 \text{ кВт.}$$

4) Потужність на вхідному валу редуктора;

$$P_{редвх} = P_{дв} = \frac{P_{редв}}{\eta_{ред}}; \quad (3.4)$$

$$P_{редвх} = \frac{3,4}{0,9} = 3,78 \text{ кВт.}$$

Знаючи потужність приймаємо по каталогу електродвигун 4A100S4У3 та вносимо його дані у табл. 3.1;

Таблиця 3.1 – Параметри електродвигуна

Потужність, кВт	Тип електродвигуна	Частота обертів,	<u>T_{пуск}</u>	<u>T_{макс}</u>	ККД, %	cos φ
			T _{ном}	T _{ном}		
4	AIP112M4	1500	2	2,2	86	0,85

5) Визначаємо передаточне число редуктора для цього приймемо передаточне число редуктора – стійки рівним 41, та визначимо оберти вхідного валу редуктора – стійки;

$$n_{вхвалрс} = u_{рс} \cdot n_{вихвалрс} = n_{вихред}; \quad (3.5)$$

$$n_{вхвалрс} = 41 \cdot 1 = 41 \text{ об/хв.}$$

6) Передаточне число редуктора;

$$u_{ред} = \frac{n_{вхред}}{n_{вихред}}; \quad (3.6)$$

$$u_{ред} = \frac{1500}{41} = 36,59.$$

Вибираємо редуктор з каталога (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Параметри редуктора

Параметр	Значення
Тип редуктора	Циліндричний триступеневий
Марка	Ц2У-160-40-12
Номінальна потужність, кВт	4
Передаточне число, u	40
ККД редуктора	0,9
Вхідна частота обертання, об/хв	1500
Вихідна частота обертання, об/хв	37-42
Номінальний крутний момент, Нм	До 1000
Маса, кг	До 100
Схема монтажу	Горизонтальна
Тип з'єднання	Через муфту

Знайдемо кутові швидкості валів приводу;

7) Кутова швидкість вхідного вала редуктора;

$$\omega_{вхред} = \frac{\pi \cdot n_{вхред}}{30}; \quad (3.7)$$

$$\omega_{вхред} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с.}$$

8) Кутова швидкість вихідного вала редуктора вона рівна кутовій швидкості вхідного вала редуктора – стійки;

$$\omega_{вихред} = \frac{\pi \cdot n_{вихред}}{30} = \omega_{вхрс}; \quad (3.8)$$

$$\omega_{вихред} = \frac{3,14 \cdot 41}{30} = 4,29 = \omega_{вихрс} \text{ рад/с.}$$

9) Кутова швидкість вихідного валу редуктора – стійки;

$$\omega_{вихрс} = \frac{\pi \cdot n_{вихрс}}{30}; \quad (3.9)$$

$$\omega_{вихрс} = \frac{3,14 \cdot 1}{30} = 0,1047 \text{ рад/с.}$$

Визначимо крутні моменти на валх приводу;

10) Крутний момент на вхідному валу редуктора;

$$T_{вхред} = \frac{P_{редвх}}{\omega_{вхред}}; \quad (3.10)$$

$$T_{вхред} = \frac{3,78 \cdot 1000}{157} = 24,1 \text{ Н·м.}$$

11) Крутний момент на вихідному валу редуктора;

$$T_{вихред} = \frac{P_{редвих}}{\omega_{вихред}} = T_{вихрс}; \quad (3.11)$$

$$T_{вихред} = \frac{3,40 \cdot 1000}{4,29} = 792,8 = T_{вихрс} \text{ Н·м.}$$

Крутний момент на вихідному валу редуктора – стійки;

$$T_{вихред} = \frac{P_{вихрс}}{\omega_{вихрс}}; \quad (3.12)$$

$$T_{вихред} = \frac{3,37 \cdot 1000}{0,1047} = 32190 \text{ Н·м.}$$

Отримані дані зводимо до табл 3.3.

Таблиця 3.3 – Узагальнені дані

Параметр	Вхідний вал реуктора	Вихідний вал редуктора	Вхідний вал р. с.	Вихідний вал р. с.
u	36,6	41	-	-
$P, кВт$	3,78	3,40	3,37	3
$n, об/хв$	1500	41	41	1
$\omega, рад/с$	157	4,29	4,29	0,105
$T, Н·м$	24,1	792,8	-	32190

3.2. Вибір та розрахунок муфт приводу

3.2.1. Призначення муфт

У приводі карусельної машини використовуються дві муфти, які забезпечують передачу крутного моменту між компонентами приводу:

- Муфта №1 – між електродвигуном та редуктором;
- Муфта №2 – між редуктором і редуктором-стійкою.

Муфти виконують такі функції:

- передача крутного моменту;
- компенсація осьового або радіального зсуву валів;
- часткове гасіння вібрацій та ударних навантажень.

3.2.2. Вибір типу муфт

Таблиця 3.4 – Характеристика муфт

№	Місце встановлення	Тип муфти	Призначення
1	Двигун ↔ Редуктор	Втулково-пальцева (МУВП)	Компенсує несоосність валів
2	Редуктор ↔ Редуктор-стійка	Жорстка фланцева (МЖ)	Забезпечує жорстке та точне з'єднання

3.2.3. Розрахунок крутного моменту на муфтах

Муфта №1:

$$T_{ном} = (9550 \times P) / n = (9550 \times 3) / 1500 = 19,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Приймається муфта МУВП-2, номінальний момент – 63 Н·м.

Муфта №2:

$$T = (9550 \times P) / n = (9550 \times 2,72) / 41 = 632,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Приймається муфта типу МЖ-4 з номінальним моментом до 800 Н·м.

Таблиця 3.5 – Розрахункові дані

Муфта	Місце встановлення	Тип	Розрахунковий момент, Н·м	Обраний тип
№1	Двигун ↔ Редуктор	Втулково-пальцева	19,1	МУВП-2
№2	Редуктор ↔ Редуктор-стійка	Жорстка фланцева	632,6	МЖ-4

3.3. Розрахунок вхідного валу редуктора

Вихідні дані :

Потужність $P=3$ кВт

Частота обертання $n = 1500$ об/хв

Допустиме дотикальне напруження $\tau = 90$ МПа

Згинальний момент $M_b = 20\%$ від крутного моменту

Запас міцності $k = 2$

1. Крутний момент

$$T = (9550 \times P) / n = (9550 \times 3) / 1500 = 19,1 \text{ Н}\cdot\text{м} = 19100 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

2. Згинальний момент

$$M_b = 0.2 \times T = 0.2 \times 19100 = 3820 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

3. Еквівалентний момент M_e

$$M_e = \sqrt{(T^2 + M_b^2)} = \sqrt{(19100^2 + 3820^2)} \approx 19468 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

4. Розрахунок діаметра валу

$$d = \sqrt[3]{(16 \times M_e \times k / (\pi \times \tau))} = \sqrt[3]{(16 \times 19468 \times 2 / (3.14 \times 90))} = \sqrt[3]{(623000 / 282.6)} = \sqrt[3]{2204} \approx 13.1 \text{ мм}$$

Діаметр валу при урахуванні згинальних навантажень і запасу міцності виходить приблизно 13 мм.

Рекомендовано прийняти вал діаметром 16–20 мм для забезпечення надійності, жорсткості і зручності монтажу. Розрахунок виконано з урахуванням запасу міцності $k = 2$.

Згинальні моменти прийняті 20% від крутного моменту. Для більш точного розрахунку рекомендується враховувати конкретні умови роботи валу і матеріал.

3.4. Розрахунок валу редуктора-стійки

Вихідні дані :

Потужність на валу стійки: $P=3$ кВт

Частота обертання: $n = 1$ об/хв

Крутний момент на валу стійки: $T=27000$ Н мм

Допустиме дотикальне напруження сталі: $\sigma = 90$ МПа

Згинальні навантаження: 20% від крутного моменту

Запас міцності $k = 2$

1. Згинальний момент

$$M_b = 0.2 \times T = 0.2 \times 27000\ 000 = 5\ 400\ 000\ \text{Н}\cdot\text{мм}$$

2. Еквівалентний момент M_e

$$M_e = \sqrt{(T^2 + M_b^2)} = \sqrt{(27\ 000\ 000^2 + 5\ 400\ 000^2)} \approx 27\ 541\ 000\ \text{Н}\cdot\text{мм}$$

3. Розрахунок діаметра валу

$$d = \sqrt[3]{(16 \times M_e \times k / (\pi \times \tau))} = \sqrt[3]{(16 \times 27541000 \times 2 / (3.14 \times 90))} = \approx 146.7\ \text{мм}$$

Для надійної роботи валу редуктора-стійки потрібен діаметр приблизно 147 мм. Вал досить міцний і передає великий момент при низьких обертах.

Загальний вид кокільної машини (бех кокілів) показано на кресленні БР-131.25.06.03.01.00.00 ВЗ. Редуктор-стійка кокільної машини показано на кресленні БР-131.25.06.03.02.00.00 КС.

3.5. Розрахунок гідравлічного привода кокільної машини моделі 4979К

Гідропривод здатен забезпечити досить значну силу запирання півформ кокіля при досить невеликих розмірах і плавно регулювати швидкість. Схему гідропривода показана на кресленні БР-131.25.06.03.03.00.00 КС. Він складається з двох pomp 30-3Г48-1. Насосна установка НУ1 містить помпу пластинчасту Г12-32М, електричний двигун серії 4А10054, фільтр Г43-63, гідроклапан тиску ПБГ54-34М, два гідроклапана МКГВ 16/3, зворотний клапан

Г51-33, перемикач манометра ПМ21-С320, реле тиску ПГ62-11, радіатор масляний ЗІЛ157-1013010-А, датчик-реле температури Т35-01-83, реле контролю рівня УХЛ4ОСТ2, манометр НТП-60/1-150. Модернізована насосна установка НУ2 містить помпу пластинчасту НПЛ5, гідроклапан тиску ПДГ54-34М, фільтр типу ФП7-25-25/200, реле тиску ГПГ62-11. Всі інші вузли такі як і в установці НУ1.

Гідропривод містить три гідроциліндри. Два бокові гідроциліндри працюють на закриття і розкриття кокілю. Нижній гідроциліндр працює на піднімання і опускання нижнього металевго стержня.

3.5.1. Початкові дані для розрахунку гідропривода

Максимальне зусилля, яке може розвинути поршень:

$P_1 = 25434$ кгс – зусилля, які створюють гідроциліндри половин кокілю;

$P_2 = 41500$ кгс – зусилля, яке створює гідроциліндр нижнього стержня;

$P_3 = 7850$ кгс – зусилля, яке створює гідроциліндр бокового стержня.

3.5.2. Розрахунок діаметра гідроциліндрів

Визначаємо площу поршня за формулою:

$$F_i = \frac{P_i}{p} \quad (3.13)$$

де P_i – максимальне зусилля, що створює гідроциліндр, кгс;

p – максимальний тиск в гідросистемі, кгс/см².

Визначимо значення максимального тиску в гідросистемі. В даному випадку з урахуванням розмірів проектуємої гідросистеми та технічних можливостей гідронасосів приймаємо $p = 100$ кгс/см².

Тоді:

$$F_i = \frac{25434}{100} = 254,34 \text{ см}^2$$

$$F_i = \frac{41500}{100} = 415,00 \text{ см}^2$$

$$F_i = \frac{7850}{100} = 78,50 \text{ см}^2$$

Визначаємо діаметр поршнів:

$$D_i = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \quad (3.14)$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 254,34}{3,14}} = 18 \text{ см}$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 415}{3,14}} = 23 \text{ см}$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 78,5}{3,14}} = 10 \text{ см}$$

3.5.3. Розрахунок товщини стінок гідроциліндрів

Для гідроциліндрів з відношенням внутрішнього діаметру до його товщини $D/\delta < 3,2$ використовується формула:

$$\delta_i = \varphi \cdot \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\sigma_i + 0,4p}{\sigma_p - 1,3p} - 1} \quad (3.15)$$

де σ_p – межа міцності при розтягуванні; для матеріалу гідроциліндра (сталь 45) σ_p дорівнює 500 Н/мм²;

φ – коефіцієнт запасу міцності. Прийнято рівним 2.

Отже, маємо

$$\delta_1 = 2 \cdot \frac{180}{2} \sqrt{\frac{500+0,4 \cdot 10}{500-1,3 \cdot 10}} - 1 = 33,63 \text{ мм}$$

Приймаємо $\delta_i = 40$ мм.

$$\delta_2 = 2 \cdot \frac{230}{2} \sqrt{\frac{500+0,4 \cdot 10}{500-1,3 \cdot 10}} - 1 = 43 \text{ мм}$$

Приймаємо $\delta_2 = 50$ мм.

$$\delta_3 = 2 \cdot \frac{100}{2} \sqrt{\frac{500+0,4 \cdot 10}{500-1,3 \cdot 10}} - 1 = 18,7 \text{ мм}$$

Приймаємо $\delta_3 = 20$ мм

3.5.4. Розрахунок потужності гідропривода і подачі мастила. Вибір помпи

Необхідна потужність гідропривода N розраховується за формулою:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{F_i \cdot V_i}{\eta_{заг}}, \quad (3.16)$$

де F_i – зусилля на штоці гідроциліндра, кН; V_i – швидкість переміщення поршня гідроциліндра, м/с; $\eta_{заг}$ – загальний (повний) ККД гідропривода; n – кількість гідроциліндрів.

Приймаємо $\eta_{заг}$ рівним 0,8. Згідно з технічною характеристикою гідропривода зусилля на штоці правого і лівого гідроциліндрів становить 25430 кгс або 250 кН. Швидкість переміщення поршня становить 0,008 м/с. Зусилля на штоці гідроциліндра нижнього стержня становить 41500 кгс або 410 кН, а швидкість руху поршня 0,0044 м/с.

$$N = \frac{1}{0,8} (250 \cdot 0,008 + 250 \cdot 0,008 + 410 \cdot 0,0044) = 7,26 \text{ кВт} .$$

При розрахунку потужності помп враховуємо можливі втрати енергії, пов'язані із зменшенням тиску і витрат у гідросистемі коефіцієнтами запаса по зусиллю і по швидкості:

$$N_H = K_z \cdot K_{ш} \cdot N , \quad (3.17)$$

де K_z – коефіцієнт запаса по зусиллю, рівний 1,1...1,2; $K_{ш}$ – коефіцієнт запаса по швидкості, рівний 1,1...1,3:

$$N_H = 1,15 \cdot 1,2 \cdot 7,26 = 10,02 \text{ кВт} .$$

Визначивши потрібну потужність помпи, розраховуємо його подачу, м³/с:

$$Q_H = \frac{N_H}{P_{ном}} \cdot 10^{-3} , \quad (3.18)$$

де $P_{нi}$ =6 МПа – номінальний тиск в гідросистемі.

$$Q_H = \frac{10,02}{6} \cdot 10^{-3} = 1,67 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} ,$$

або

$$Q_H = 100 \text{ л/хв} .$$

По величині $P_{ном}$ і Q_H вибираємо тип помпи – помпа пластинчаста Г12-32 М з частотою обертів $n=1500$ об/хв.

Потрібний робочий об'єм насоса q_H , л/об:

$$q_H = \frac{60 \cdot Q_H}{Z \cdot n \cdot \eta_{об}} , \quad (3.19)$$

де Q_H – подача помпи, л/с; Z – число помп; $\eta_{об} = 0,9$ – об'ємний ККД помпи; n – частота обертання помпи, об/хв.

$$q_H = \frac{60 \cdot 1,67}{2 \cdot 1500 \cdot 0,9} = 3,34 \cdot 10^{-2} \text{ л/об} .$$

Номінальна частота обертів для вибраної помпи становить 960 об/хв.

3.5.5. Вибір розподілювачів і фільтра

Вибираємо тип і марку розподілювача по номінальному тиску, подачі (витратах) рідини у відповідну гідролінію і кількості гідроциліндрів. Для гідропривода, що працює в середньому режимі вибираємо багатоблочні розподілювачі: типу ВЕ 10.4440/110 В – два штуки.

Вибір фільтра здійснюємо по витратах рідини (подачі насоса). Приймаємо два фільтра Г43-63 ($Q_H=100$ л/хв) і один фільтр пористий для тонкої очистки типу ФП 7-25-25/200.

Технічна характеристика фільтра ФП7-25-25/200:

1. Умовний прохід – 25 мм
2. Номінальна пропускна спроможність – 100 л/хв
3. Номінальний тиск – 6,3...20 МПа
4. Номінальний розмір фільтра – 10,25 мкм

5. Маса – 16,5 кг

6. Перепад тиску відкритого перепускного клапана – $0,6 \pm 0,1$ МПа.

Фактичні втрати тиску у фільтрах ΔP уточнюємо по формулі:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_T}{Q_T} \cdot Q_\phi , \quad (3.20)$$

де ΔP_T і Q_T – табличні значення втрат тиску і витрати; Q_ϕ – фактична витрата у фільтрі.

$$\Delta P = \frac{0,6}{100} \cdot 80 = 0,48 \text{ МПа} .$$

3.5.6. Розрахунок гідроліній

Гідролінія – це трубопровід, призначений для транспортування робочої рідини (мастила). В залежності від призначення магістралі бувають: всмоктувальними, по яким рідина поступає в насос із бака або гідродвигуна; напірними – по яким робоча рідина рухається від насоса; зливними – по яким робоча рідина поступає в гідробак; для керування – по яким робоча рідина рухається до пристроїв керування і регулювання; дренажні – для відводу робочої рідини.

Швидкість руху робочої рідини у трубопроводі не повинна перевищувати такі значення, м/с:

для гідроліній:

всмоктувальної – 1,2...1,5

напірної – 3...6

зливної – 1,4...2

керування – 4...6.

Внутрішній діаметр труби, м, визначається за формулою:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{Q_H}{V_y}}, \quad (3.21)$$

де Q_i – витрата рідини, м³/с; V_y – допустима швидкість рідини, м/с.

для напірної гідролінії d_1 :

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{1,67 \cdot 10^{-3}}{6}} = 0,02 \text{ м} .$$

Для зливної гідролінії d_2 :

$$d_2 = 1,13 \sqrt{\frac{1,67 \cdot 10^{-3}}{2}} = 0,033 \text{ м} .$$

Згідно стандартного ряду ДСТУ 8286-95 приймаємо діаметр напірної і зливної гідроліній:

для напірної – 20 мм;

для зливної – 38 мм.

По вибраному діаметру трубопроводів визначаємо фактичну швидкість руху рідини (мастила), м/с, за формулою:

$$V = \frac{Q}{0,785 \cdot d^2} . \quad (3.22)$$

Для напірної гідролінії V_1 :

$$V_1 = \frac{1,67 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,02^2} = 5,32 \text{ м/с} .$$

Для зливної гідролінії V_2 :

$$V_2 = \frac{1,67 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,0038^2} = 1,47 \text{ м/с} .$$

3.5.7. Розрахунок втрат тиску в гідролінії

Загальні втрати тиску визначаємо як суму усіх втрат в окремих елементах гідросистеми по формулі:

$$\sum \Delta P = \sum \Delta P_T + \sum \Delta P_M + \sum \Delta P_L , \quad (3.23)$$

де $\sum \Delta P_T$ – сумарні втрати тиску на тертя по довжині трубопровода; $\sum \Delta P_M$ – сумарні місцеві втрати тиску у згинах трубопроводів, штуцерах, перехідниках, розгалудженнях і т.д.; $\sum \Delta P_L$ – сумарні втрати тиску в гідроагрегатах (розподільвачах, фільтрах і т.д.).

Втрати тиску на тертя по довжині трубопровода, кПа, становлять:

$$\sum \Delta P_T = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot 10^{-3} , \quad (3.24)$$

де λ – коефіцієнт опору тертю; l і d – відповідно, довжина і діаметр ділянки труби (шланга), м; ρ – густина мастила кг/м³; V – середня швидкість руху рідини, м/с.

Розраховуємо значення критерія Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu} = \frac{V \cdot d}{\nu} . \quad (3.25)$$

де μ і ν – відповідно динамічна і кінематична вязкість мастила.

Для мастила турбінного Е-22 ДСТУ32-95 $\rho=874$ кг/м³ при температурі 50 С. Кінематична вязкість $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Для напірної гідролінії:

$$Re_1 = \frac{6 \cdot 0,02}{15 \cdot 10^{-6}} = 8000 .$$

Для зливної гідролінії:

$$Re_2 = \frac{2 \cdot 0,0038}{15 \cdot 10^{-6}} = 5067 .$$

Для чисел Рейнольдса в межах від 2320 до 80000 коефіцієнт опору тертю становить:

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} . \quad (3.26)$$

Для напірної гідролінії, отримуємо:

$$\lambda = 0,3164 \cdot 8000^{-0,25} = 0,033 .$$

Для зливної гідролінії, отримуємо:

$$\lambda = 0,3164 \cdot 5067^{-0,25} = 0,038 .$$

Втрата тиску на тертя по довжині напірної гідролінії становить:

$$\Delta P_T = 0,033 \cdot \frac{2,25}{0,02} \cdot 874 \cdot \frac{6^2}{2} \cdot 10^{-3} = 58,4 \text{ кПа} .$$

Втрата тиску на тертя по довжині зливної гідролінії становить:

$$\Delta P_T = 0,038 \cdot \frac{1,80}{0,038} \cdot 874 \cdot \frac{2^2}{2} \cdot 10^{-3} = 3,15 \text{ кПа} .$$

Загальні втрати тиску на тертя в гідросистемі складають:

$$\sum \Delta P_T = 58,4 + 3,15 = 61,55 \text{ кПа} .$$

Місцеві втрати тиску в гідросистемі, кПа, визначаємо за формулою:

$$\Delta P_M = \zeta \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot 10^{-3} , \quad (3.27)$$

де ζ – коефіцієнт місцевого опору. Приймаємо рівним 12 (сума коефіцієнтів місцевих опорів трубопроводів).

Отже,

$$\Delta P_M = 12 \cdot 874 \cdot \frac{4^2}{2} \cdot 10^{-3} = 83,9 \text{ кПа} .$$

Визначаємо загальні втрати тиску в гідросистемі:

$$\sum \Delta P = 61,55 + 83,9 = 145,5 \text{ кПа} .$$

3.5.8. Розрахунок ККД гідропривода

Загальний ККД гідропривода $\eta_{заг}$ визначається добутком гідравлічного η_z , механічного η_m і об'ємного $\eta_{об}$ ККД:

$$\eta_{заг} = \eta_z \cdot \eta_m \cdot \eta_{об}, \quad (3.28)$$

Гідравлічний ККД розраховуємо за сумарними втратами тиску в гідросистемі:

$$\eta_z = \frac{P_{ном} - \sum \Delta P}{P_{ном}}, \quad (3.29)$$

$$\eta_z = \frac{6 - 0,146}{6} = 0,98 .$$

Механічний ККД визначаємо добутком механічних ККД усіх послідовно з'єднаних гідроагрегатів, в яких виникають втрати енергії на тертя:

$$\eta_m = \eta_{м.н} \cdot \eta_{м.р}, \quad (3.30)$$

де $\eta_{м.н}$ і $\eta_{м.р}$ – відповідно, значення механічних ККД насоса і розподільвачів.

$$\eta_m = 0,9 \cdot 0,85 = 0,77 .$$

Об'ємний ККД гідроциліндрів приймаємо рівним 0,95.

Отже, загальний ККД гідропривода становить:

$$\eta_{заг} = 0,98 \cdot 0,77 \cdot 0,95 = 0,75 .$$

3.5.9. Розрахунок на міцність вузлів та деталей машини

При виборі і складанні розрахункової схеми станин виходять з ряду припущень. Розрахункова схема направляючих визначається їх способом установки. Суцільна станина, закріплена на фундаменті, розглядається як балка на пружному фундаменті. Елементи станини розглядаються як бруси постійної жорсткості. При розрахунках припускається, що силові фактори, які діють на станину, згуртовані в точці. Припускається, що спосіб закріплення штанг в плитах-стійках виключає їх зміщення під дією зсувних сил, що відповідає їх кріпленню. Приймаємо, що жорсткість плит-стійок нескінченно велика в порівнянні з жорсткістю направляючих штанг (продольних брусів).

Направляюча жорстко зв'язана з нерухомими стійками та гідроциліндрами (правим і лівим).

Тому основним навантаженням для них буде зусилля розкриття кокілю P_1 і P_2 . $P_1 = P_2 = 25430$ кгс, так як вагу кокілю будуть приймати салазки, розташовані на станині кокільної машини. Так як довжина направляючої відносно мала ($l/d < 20$), то розрахунок на стійкість проводити не треба. Розрахунок зводиться до визначення діаметрів направляючих.

Початкові дані, необхідні для розрахунку:

$L = 1,4$ м - довжина направляючих;

$E = 2 \cdot 10^5$ МПа - модуль пружності;

$P_1 = P_2 = 254300$ Н - зусилля стискання, матеріал - сталь 3.

Зусилля стискання будуть діяти на кожен направляючу із значенням, рівним половині зусилля розкриття кокілю $P/2$ і буде достатньо провести розрахунок тільки однієї із направляючих.

Так як проектуємо направляючі повинні бути постійного перерізу, то його треба підбирати по зусиллю, діючому в середній частині. Вираз для напруження в стержнях запишемо наступним чином:

$$\sigma \geq \frac{P}{F}, \quad (3.31)$$

де σ - напруження стискання, МПа;

P - зусилля стискання, Н;

F - площа поперечного перерізу, м².

де $\sigma = 160$ МПа - гранично допустиме напруження стискання, для Ст3.

Площа перерізу стержня:

$$F \geq \frac{127150}{160000000} = 8 \text{ см}^2$$

З цієї умови:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \quad (3.32)$$

і

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 8}{3,14}} = 3,2 \text{ см}$$

Приймаємо діаметр направляючих рівним 32 мм. Визначаємо переміщення перерізів стержня. Приймаємо, наприклад, за початок відліку лівий кінець стержня, умовно вважаючи його нерухомим.

Переміщення перерізу стержня визначається по формулі:

$$\lambda(x) = \frac{P \cdot x}{E \cdot F} \quad (3.33)$$

При $x=0$, маємо $x_a=0$

При $x=1$, маємо

$$\lambda(x) = \frac{0,127150 \cdot 1,4}{200000 \cdot 0,0008} = 0,01113 \text{ мм}$$

Таким чином, переміщення перерізу В відносно перерізу А складає 0,01113 мм.

3.5.10. Тепловий розрахунок гідросистеми

Кількість теплоти Q , що отримує гідросистема, відповідає втраченій в гідроприводі потужності і визначається за формулою, кДж:

$$Q = (1 - \eta_{заг}) \cdot N_H \cdot k_{II} , \quad (3.34)$$

де N_H – потужність привода насоса, кВт; k_{II} – коефіцієнт тривалості роботи під навантаженням, рівний 0,7.

Отже,

$$Q = (1 - 0,75) \cdot 10,02 \cdot 0,7 = 1,75 \text{ кДж} .$$

Максимальну допустиму температуру мастила визначаємо за формулою:

$$t = \frac{Q}{k \cdot F_{max}} \quad (3.35)$$

де $t_0=25$ С – максимальна температура навколишнього повітря; k – коефіцієнт тепловіддачі; дорівнює $0,04$ кДж/(м² с С); F – загальна площа зовнішніх поверхонь гідропривода, м²:

$$t = \frac{1,75}{0,04 \cdot 1,46} = 30$$

При роботі гідропривода температура мастила має бути не вище +55 С.

Висновок

У цій роботі проведено комплексний інженерний розрахунок гідроприводу та гідросистеми карусельної кокільної машини моделі 4979К, що є ключовим вузлом у ливарному виробництві для забезпечення точності та надійності роботи механізму.

На початковому етапі вибрано насос необхідної продуктивності та номінального тиску, які відповідають робочим режимам машини. Вибір багатоблочних розподілювачів типу ВЕ 10.4440/110 В обґрунтовано з урахуванням кількості гідроциліндрів та характеру навантажень, що забезпечує стабільне і кероване переміщення робочих елементів.

Для підтримки якості гідравлічної рідини і захисту системи вибрано фільтри Г43-63 та ФП7-25-25/200 з характеристиками, які дозволяють підтримувати оптимальний режим очищення при заданих витратах рідини.

Розрахунок гідроліній визначив оптимальні діаметри трубопроводів для напірних та зливних магістралей, що відповідають стандартам і забезпечують допустимі швидкості руху мастила. Це мінімізує гідравлічні втрати та підвищує ефективність системи.

Втрати тиску, що включають тертя по довжині труб, місцеві опори та втрати у гідроагрегатах, ретельно проаналізовані і знаходяться в межах нормативних значень. Це підтверджується розрахунковим значенням загального перепаду тиску та високим гідравлічним ККД (0,98).

Механічний ККД, розрахований як добуток ККД насоса і розподілювачів, а також об'ємний ККД гідроциліндрів, дали загальний ККД гідропривода 0,75, що свідчить про ефективну роботу всієї системи.

Особлива увага приділена міцнісному розрахунку направляючих кокільної машини. Визначено необхідний діаметр направляючих з урахуванням максимальних осьових навантажень і гранично допустимих напружень для сталі 3. Результат розрахунку підтвердив вибір діаметра 32 мм і показав

мінімальні деформації (близько 0,011 мм), що гарантує стабільність і точність роботи механізму.

Тепловий розрахунок гідросистеми показав, що теплова потужність, яка виділяється в процесі роботи, не перевищує допустимих значень. Максимальна температура мастила залишається у межах +30°C, що значно нижче граничної температури +55°C, забезпечуючи надійну і безпечну експлуатацію.

Таким чином, проведені розрахунки і вибір гідроелементів повністю відповідають технічним вимогам та особливостям карусельної кокільної машини 4979К. Вони забезпечують її ефективну, надійну та тривалу роботу в умовах експлуатації, що є важливим для стабільного ливарного виробництва.

Список літератури

1. Бойко І. І., Кобиляцький В. С. Основи ливарного виробництва. — Київ: Либідь, 2016. — 320 с.
2. Кузьменко В. І. Процеси та обладнання ливарного виробництва кольорових металів. — Харків: НТУ "ХПІ", 2019. — 284 с.
3. Герасименко С. І., Левченко О. В. Автоматизація процесів ливарного виробництва. — Дніпро: НМетАУ, 2020. — 198 с.
4. Іванченко П. П., Смирнов Ю. О. Технологія лиття у кокіль. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. — 256 с.
5. Петренко М. Ю. Механізація та автоматизація у ливарному виробництві: навчальний посібник. — Київ: НАУ, 2021. — 212 с.
6. Хома Я. Я. Алюмінієве литво: властивості, технології, обладнання. — Івано-Франківськ: Прикарпатський нац. ун-т, 2017. — 228 с.
7. Ткаченко В. П. Спеціальні види литва: литво за виплавленими моделями, під тиском, у кокілі. — Краматорськ: ДДМА, 2020. — 190 с.
8. Семенов О. А., Дяченко Л. О. Лиття під тиском: теорія і практика. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. — 176 с.
9. Національний стандарт України ДСТУ EN 13700:2020. Устаткування ливарне. Вимоги до карусельних кокільних машин. — Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2020. — 34 с.
10. Ливарне виробництво кольорових металів: збірник наукових праць / За ред. В. В. Чумака. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2022. — 276 с.
11. Бондаренко С. В. Технологія спеціального литва кольорових сплавів. — Суми: СумДУ, 2021. — 210 с.
12. Черненко І. І. Кокільне литво: організація, механізація, автоматизація. — Полтава: ПНТУ, 2019. — 198 с.

ДОДАТКИ