

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра: „Матеріалознавство та ливарне виробництво”

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою МЛВ

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр Кузик

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

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

**на тему:**

**“Конструювання і розрахунок однопозиційного  
кокільного верстата моделі 5955А”**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ПМ-22М-1

спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

\_\_\_\_\_ Щігельський С.О.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Віктор Ломакін

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 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

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

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

\_\_\_\_\_  
Щігельський Сергій Олегович

прізвище, ім'я, по-батькові

1. Тема роботи: “Конструювання і розрахунок однопозиційного  
кокільного верстата моделі 5955А”, затверджена наказом по  
університету \_\_\_\_\_ квітня 2024 р., № \_\_\_\_\_
2. Керівник роботи: Ломакін Віктор Миколайович, к.т.н., доцент
3. Строк подання роботи до захисту: 26.06.2024 р.
4. Мета кваліфікаційної роботи: конструювання і розрахунок однопози-  
ційного кокільного верстата моделі 5955А

Завдання роботи: розрахунки гідравлічного привода однопозиційного  
кокільного верстата моделі 5955А; розрахунок на міцність  
вузлів та деталей верстату

Креслення: однопозиційний кокільний верстат, гідравлічна схема.

### 5. Консультанти по роботі із зазначенням розділів роботи

| Розділ                                                                            | Консультант   | Підпис, дата   |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|------------------|
|                                                                                   |               | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Аналіз існуючих конструкцій кокільних машин                                       | Ломакін В. М. |                |                  |
| Розрахунок гідравлічного привода однопозиційного кокільного верстата моделі 5955А | Ломакін В. М. |                |                  |
| Розрахунок на міцність вузлів та деталей верстату                                 | Ломакін В. М. |                |                  |
| Креслення                                                                         | Ломакін В.М.  |                |                  |

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                               | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.    | Аналіз існуючих конструкцій кокільних машин                                       |                               |          |
| 2.    | Розрахунок гідравлічного привода однопозиційного кокільного верстата моделі 5955А |                               |          |
| 3.    | Розрахунок на міцність вузлів та деталей верстату                                 |                               |          |
| 4.    | Креслення                                                                         |                               |          |
| 5.    | Оформлення пояснювальної записки                                                  |                               |          |
| 6.    | Оформлення рецензії                                                               |                               |          |
| 7.    | Захист кваліфікаційної роботи                                                     |                               |          |

Дата видачі завдання:

“     ”     2024 р

Підпис керівника

\_\_\_\_\_

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_

Ломакін В. М.  
(прізвище та ініціали)

Щігельський С. О.  
(прізвище та ініціали)

## **Анотація**

стор. 30, бібліографічних назв 2

**Кокіль, верстат, гідропривод, потужність, подача, гідроциліндр,  
фільтр, гідролінія, міцність**

В бакалаврській роботі на тему: “Конструювання і розрахунок однопозиційного кокільного верстата моделі 5955А” спроектовано кокільний верстат продуктивністю 2 - 4 відл/год; розраховані його конструктивні та технологічні параметри. Виконано розрахунок на міцність основних вузлів кокільного верстата.

## **Annotation**

Page 30, bibliographic titles 2

**Chill mold, machine, hydraulic drive, power, feed, hydraulic cylinder, filter, hydraulic line, strength**

In the bachelor's thesis on the topic: "Design and calculation of a single-position chill molding machine model 5955A", a chill molding machine with a productivity of 2 - 4 exl/hour was designed; its design and technological characteristics are calculated. A calculation of the strength of the main components of the chill molding machine was carried out.

## Зміст.

## Сторінка

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                                      | 7  |
| 1. Аналіз існуючих конструкцій кокільних машин .....                                            | 9  |
| 1.1. Мета бакалаврської роботи.....                                                             | 11 |
| 1.2. Задачі бакалаврської роботи .....                                                          | 11 |
| 2. Опис конструкції та принципу роботи кокільного верстату .....                                | 11 |
| 3. Розрахунок гідравлічного привода однопозиційного кокільно-<br>го верстата моделі 5955А ..... | 12 |
| 3.1. Початкові дані для розрахунку .....                                                        | 13 |
| 3.2. Розрахунок діаметра гідроциліндрів .....                                                   | 13 |
| 3.3. Розрахунок товщини стінок гідроциліндрів .....                                             | 14 |
| 3.4. Розрахунок потужності гідропривода і подачі мастила.<br>Вибір помпи .....                  | 16 |
| 3.5. Вибір розподільвачів і фільтра .....                                                       | 18 |
| 3.6. Розрахунок гідроліній (магістралей) .....                                                  | 19 |
| 3.7. Розрахунок втрат тиску в гідролінії .....                                                  | 21 |
| 3.8. Розрахунок ККД гідропривода .....                                                          | 24 |
| 3.9. Тепловий розрахунок гідросистеми .....                                                     | 25 |
| 4. Розрахунок на міцність вузлів та деталей верстату .....                                      | 26 |
| Висновки .....                                                                                  | 29 |
| Література.....                                                                                 | 30 |
| Додатки.....                                                                                    | 31 |

## Вступ

Основним напрямком удосконалення та розвитку ливарного виробництва є використання відомих та створення нових технологічних процесів, які дозволяють зменшити витрати матеріалів та енергії, підвищити продуктивність та покращити умови праці, усунути шкідливий вплив на навколишнє середовище і, як результат, підвищити якість відливків та ефективність виробництва.

Для ливарного виробництва характерна різноманітність способів лиття, технологічних процесів, обладнання, пристроїв, матеріалів. Вона є відображенням не лише складності самого процесу, але й різноманітності деталей сучасної техніки, їх виробництва та експлуатації. Зміна якісних показників йде в напрямку отримання більш легких, складних та точних відливків за рахунок використання високоміцних, в тому числі кольорових сплавів, високоефективних технологій та оснащення.

Підвищення якості, довговічності та експлуатаційної надійності ливарних машин пов'язано з подальшим удосконаленням та розвитком теорії та методів їх розрахунку. Особливу актуальність ця задача набула в останні роки у зв'язку з інтенсифікацією технологічних процесів та режимів роботи машин.

При проектуванні та модернізації ливарних машин визначаються основні робочі параметри, розраховуються навантаження деталей вузлів та механізмів, потужність привода виконавчих та транспортних механізмів, зусилля пневматичних та гідравлічних циліндрів та часу їх спрацювання, виконуються теплові, а також спеціальні розрахунки, які відносяться до окремих питань проектування ливарних машин.

Прогрес в техніці лиття полягає в автоматизації, удосконаленні систем виробництва та контролю якості, спрямованих на покращення умов праці, охорони навколишнього середовища, підвищення якості відливків, покращення економічних показників [1].

Таким чином, застосування сучасних технологій і автоматизації дозволяє підвищувати якість відливків.

В бакалаврській роботі виконано конструювання та розрахунок гідропривода і деталей на міцність однопозиційного кокільного верстата моделі 5955А.

## **1. Аналіз існуючих конструкцій кокільних машин**

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

При литті у металеві форми обов'язково механізують операції розкриття і закриття форм, встановлення і видалення стержнів, вибивки відливків із форм, покриття форм вогнетривкими фарбами, охолодження і нагрівання форми, заливки. Це здійснюється на спеціальних кокільних установках: індивідуальних верстатах; універсальних машинах, які дозволяють здійснювати розкривання форми як в горизонтальній, так і у вертикальній площині; напівавтоматичних карусельних машинах; конвеєрних кокільних лініях.

Для крупних відливків складної конфігурації, які потребують застосування кокілів з декількома поверхнями рознімання і великої кількості металевих стержнів, що видаляються в різних напрямках, застосовують механізовані кокілі з програмним керуванням.

Для відливків більш простих по конструкції, невеликих і середніх по розміру використовують універсальні індивідуальні або карусельні машини, а також конвеєрні автоматичні лінії.

Зазвичай у якості приводів механізмів розкриття і закриття кокілів, видалення стержнів і т.п. в машинах використовують пневматичні або гідравлічні приводи.

Однопозиційні кокільні машини поділяють на механізовані кокілі і універсальні машини. Механізовані кокілі використовують зазвичай в умовах крупносерійного і масового виробництва. Вони призначені для виготовлення одного відливка або однотипних, близьких за конфігурацією відливків, коли витрати на оснащення кокіля допоміжними механізмами незначні. Універсальні кокільні машини застосовуються для виготовлення різних відливків, розміри кокіля для яких відповідають нормальному ряду по ДСТУ 9451-96.

Ці машини мають великі технологічні можливості. На них можна встановлювати кокілі з різними поверхнями розему, а також використовувати металеві і піщані стержні.

На машинах 1-го типу встановлюють кокілі з двома напівформами, із яких одна нерухома; на машинах 2-го типу – кокілі, які складаються із двох вертикальних рухомих частин і піддона; на машинах 3-го типу – кокілі, нижня частина у яких нерухома, а верхня переміщується, а потім повертається и і т д.

Найбільш широко застосовують однопозиційні кокільні машини 1-го і 2-го типів. Продуктивність однопозиційних машин зазвичай складає 5...20 відливків за годину.

Карусельні кокільні машини застосовують в умовах масового і крупносерійного виробництва для виготовлення невеликих за розмірами і масі відливків. Кількість коклів, що встановлюються на каруселі, різна і коливається для різних машин від 3 до 8. Наприклад, автоматична карусельна машина моделі 4516 Д призначена для виготовлення безстержневих відливків із кольорових сплавів і чавуну в кокілях, що охолоджуються водою. Маса відливків з ливниковою системою 10 кг.

На столі машини установлені шість кокільних верстатів, на плитах яких закріплені кокілі з вертикальною площиною розему. Керування роботою машини здійснюється від спеціального апарата. Кількість заливок на цій машині може досягати 300 за годину.

Таким чином, карусельні кокільні машини мають значно більшу продуктивність ніж однопозиційні.

Конвеєри і конвейєрні автоматичні кокільні лінії застосовують в умовах масового виробництва.

Вертикально-замкнутий конвеєр Луганського машинобудівного заводу призначений для відливки колес вагонеток. Зірочки приводять до руху ланцюг, до якого прикріплені половинки коклія, що мають кришки. Кокілі заливають із ковша, який переміщується по монорельсу. В кінці конвеєра відливки видаляються із коклія і по лотку потрапляють в короб. В нижній частині конвеєра

кокілі охолоджуються стисненим повітрям із сопла і покриваються фарбою із пульверизатора, з'єднаного з баком.

### **1.1. Мета бакалаврської роботи**

Метою бакалаврської роботи є конструювання і розрахунок однопозиційного кокільного верстата моделі 5955А.

### **1.2. Задачі бакалаврської роботи**

Задачами бакалаврської роботи є розрахунок гідравлічного привода, вузлів та деталей на міцність однопозиційного кокільного верстата моделі 5955А

## **2. Опис конструкції та принципу роботи кокільного верстату**

Проектуємий кокільний верстат відноситься до однопозиційних машин другого типу. Загальний вид кокільного верстата показано на кресленні ПМ-131.24.03.01.01.00.00 КС.

На верстат встановлено кокілі з вертикальним роз'ємом і піддоном. Основним вузлом верстата є рама, яка об'єднує всі вузли в єдине ціле, орієнтує їх спеціальним чином відносно один одного і забезпечує їх взаємодію. На раму встановлені гідроприводи правий і лівий, які служать для запирання кокілю і його розкриття після затвердіння відливка. На кожному з приводів встановлені механізми виштовхування відливка. Також верстат має привод нижнього стержня. Підкокільні плити закріплені консольно на циліндричних направляючих, які в свою чергу кріпляться на нерухомих стійках. Підкокільні плити мають Т-подібні пази для кріплення кокілю. На підкокільну плиту встановлюється плита низу кокілю і розміщується металевий стержень та виштовхувачі.

Працює верстат наступним чином. Вмикається гідропривід. Всі гідроциліндри працюють на виштовхування, внаслідок чого половини кокілю змикаються, стержні заходять в порожнину форми. Потім заливається розплав в

порожнину кокілю і витримується до повної кристалізації (температура приблизно 500 °С), після чого гідроциліндри стержнів перемикаються на режим втягування, внаслідок чого стержні з відливка видаляються. Потім спрацьовують приводи правий і лівий, які розкривають кокіль і виштовхують відливок разом з ливниковою системою. Після повного розкриття кокілю спрацьовують кінцеві вимикачі, які вимикають подачу робочої рідини в гідро циліндри . Потім цикл повторюється. Тривалість робочого циклу 12 хв.

### **3. Розрахунок гідравлічного привода однопозиційного кокільного верстата моделі 5955А**

За допомогою гідропривода можна одержати досить велику силу запирання половинок кокіля при його невеликих розмірах, плавно регулювати швидкість. Схему гідропривода показано на кресленні ПМ-131.24.03.01.02.00.00 КС. Він складається з двох насосних установок 30-3Г48-1. Насосна установка НУ1 містить насос пластинчастий 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 насос пластинчастий 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 діаметром 180 мм працюють на закриття і розкриття кокільного верстата. Нижній гідроциліндр діаметром 320 мм працює на піднімання і опускання нижнього металевого стержня.

### 3.1. Початкові дані для розрахунку

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.

### 3.2. Розрахунок діаметра гідроциліндрів

Визначаємо площу поршня за формулою:

$$F_i = \frac{P_i}{p} \quad (3.1)$$

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

$p$  – максимальний тиск в гідросистемі, кгс/см<sup>2</sup>.

Визначаємо значення максимального тиску в гідросистемі. В даному випадку з урахуванням розмірів проектуємої гідросистеми та технічних можливостей гідронасосів приймаємо  $p = 100$  кгс/см<sup>2</sup>.

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:

$$D_i = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \quad (3.2)$$

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

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

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

### 3.3. Розрахунок товщини стінок гідроциліндрів

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

$$\delta_i = \varphi \cdot \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\sigma_i + 0,4p}{\sigma_p - 1,3p}} - 1 \quad (3.3)$$

де  $\sigma_p$  – межа міцності при розтягуванні; для матеріалу гідроциліндра (сталь 45)  
 $\sigma_p$  дорівнює 500 Н/мм<sup>2</sup>;

$\varphi$  – 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

### 3.4. Розрахунок потужності гідропривода і подачі мастила. Вибір помпи.

Потужність гідропривода  $N$ , що необхідна для роботи розраховується за формулою:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{F_i \cdot V_i}{\eta_{заг}}, \quad (3.4)$$

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

$$N_H = K_z \cdot K_{ш} \cdot N , \quad (3.5)$$

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, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_H = \frac{N_H}{P_{ном}} \cdot 10^{-3} , \quad (3.6)$$

де  $P_{\text{нн}} = 6$  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:

$$q_H = \frac{60 \cdot Q_H}{Z \cdot n \cdot \eta_{об}} , \quad (3.7)$$

де  $Q_H$  – подача помпи, л/с;  $Z$  – число помп;  $\eta_{\text{іа}} = 0,9$  – 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 пеомпи становить 960 об/хв.

### 3.5. Вибір розподілювачів і фільтра

Вибір типу і марки розподілювача здійснюємо 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  $\Delta P$  уточнюємо по формулі:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_T}{Q_T} \cdot Q_\phi , \quad (3.8)$$

де  $\Delta P_T$  і  $Q_T$  – табличні значення втрат тиску і витрати;  $Q_\phi$  – фактична витрата у фільтрі.

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

### 3.6. Розрахунок гідроліній (магістралей)

Гідролінія (магістраль) – 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:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{Q_H}{V_y}}, \quad (3.9)$$

де  $Q_f$  – витрата рідини, м<sup>3</sup>/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:

$$V = \frac{Q}{0,785 \cdot d^2} . \quad (3.10)$$

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  $V_2$ :

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

### 3.7. Розрахунок втрат тиску в гідролінії

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

$$\sum \Delta P = \sum \Delta P_T + \sum \Delta P_M + \sum \Delta P_L , \quad (3.11)$$

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, розгалуженнях і т.д.;  $\sum \Delta P_L$  – сумарні втрати тиску в гідроагрегатах (розподільувачах, фільтрах і т.д.).

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

$$\sum \Delta P_T = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot 10^{-3} , \quad (3.12)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт опору тертю;  $l$  і  $d$  – відповідно, довжина і діаметр ділянки труби (шланга), м;  $\rho$  – густина мастила кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – середня швидкість руху рідини, м/с.

Розраховуємо значення критерія Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu} = \frac{V \cdot d}{\nu} . \quad (3.13)$$

де  $\mu$  і  $\nu$  – відповідно динамічна і кінематична вязкість мастила.

Для мастила турбінного Е-22 ДСТУ32-95  $\rho=874$  кг/м<sup>3</sup> при температурі 50 С. Кінематична вязкість  $\nu=15 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/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:

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} . \quad (3.14)$$

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:

$$\Delta P_M = \zeta \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot 10^{-3} , \quad (3.15)$$

де  $\zeta$  – 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:

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

### 3.8. Розрахунок ККД гідропривода

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

$$\eta_{заг} = \eta_z \cdot \eta_m \cdot \eta_{об}, \quad (3.16)$$

Гідравлічний ККД розраховуємо за сумарними втратами тиску в гідросистемі:

$$\eta_z = \frac{P_{ном} - \sum \Delta P}{P_{ном}}, \quad (3.17)$$

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

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

$$\eta_m = \eta_{м.н} \cdot \eta_{м.р}, \quad (3.18)$$

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

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

Об'ємний ККД гідроциліндрів приймаємо рівним 0,95.

Отже, загальний ККД гідропривода становить:

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

### 3.9. Тепловий розрахунок гідросистеми

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

$$Q = (1 - \eta_{заг}) \cdot N_H \cdot k_{II} , \quad (3.19)$$

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:

$$t = \frac{Q}{k \cdot F_{max}} \quad (3.20)$$

де  $t_0=25$  С – максимальна температура навколишнього повітря;  $k$  – коефіцієнт тепловіддачі; дорівнює 0,04 кДж/(м<sup>2</sup> с С);  $F$  – загальна площа зовнішніх поверхонь гідропривода, м<sup>2</sup>:

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

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

#### 4. Розрахунок на міцність вузлів та деталей верстату

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 кожну направляючу із значенням, рівним половині зусилля розкриття кокілю  $P/2$  і буде достатньо провести розрахунок тільки однієї із направляючих.

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

$$\sigma \geq \frac{P}{F}, \quad (3.21)$$

де  $\sigma$  - напруження стискання, МПа;

$P$  - зусилля стискання, Н;

$F$  - площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>.

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:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \quad (3.22)$$

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:

$$\lambda(x) = \frac{P \cdot x}{E \cdot F} \quad (3.23)$$

При  $x=0$ , маємо  $x_a=0$

При  $x=l$ , 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.

## **Висновки**

В бакалаврській роботі спроектовано кокільний верстат продуктивністю 2 - 4 відл/год, розраховані його конструктивні та технологічні параметри. Проведено розрахунок на міцність основних вузлів кокільного верстату.

## **Література**

1. Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів: навчальний посібник. – К.: ННК, 1992. – 188 с.
2. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.

# ДОДАТКИ