

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни “ Робототехнічні системи та комплекси”
для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю G10 “Металургія”

Затверджено редакційно–
видавничою радою університету, протокол
№ 2 від 26.06.2025 р.

Харків
НТУ «ХП»
2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Робототехнічні системи та комплекси» для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G10 “Металургія” рівня магістр / Уклад. : Берлізева Т.В.. – Харків: НТУ «ХП», 2025. – 34 с.

Укладач: Берлізева Т.В.

Рецензент: Акімов О.В..

Кафедра ливарного виробництва

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G10 “Металургія” рівня магістр.

Практичні роботи являють собою невеликі дослідження, що дозволяють студентам більш детально ознайомитися з технологіями одержання металів та сплавів для ливарного виробництва.

Кожна практична робота містить перелік матеріалів, короткий виклад теоретичних відомостей і методів одержання, порядок виконання, що допомагає студентам правильно і усвідомлено виконати практичну частину роботи і зробити висновки.

Ці методичні вказівки призначені для студентів, що вивчають дисципліну "Робототехнічні системи та комплекси". Метою практичних робіт є закріплення теоретичних знань, набутих на лекціях, а також формування практичних навичок з проєктування, програмування та експлуатації робототехнічних систем.

Кожна практична робота містить:

- Назву та мету роботи.
- Теоретичні відомості, необхідні для виконання роботи.
- Завдання для виконання.
- Порядок виконання роботи.
- Вимоги до звіту.
- Контрольні запитання для самоперевірки.

Практична робота 1. РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ ЗМІШУВАЧІВ

Мета роботи

Навчитися розраховувати основні параметри автоматичного комплексу, що базується на використанні змішувачів для приготування формовочних або стержневих сумішей у ливарному виробництві. Визначити продуктивність комплексу, необхідну кількість обладнання та розробити принципову схему автоматизації.

Теоретичні відомості

У сучасному ливарному виробництві якість виливків значною мірою залежить від властивостей формовочних та стержневих сумішей, які готуються у спеціальних змішувачах. Автоматизація цього процесу дозволяє забезпечити стабільність складу суміші, підвищити продуктивність та зменшити вплив людського фактора.

Автоматичний комплекс на базі змішувачів зазвичай включає:

- Бункери для зберігання вихідних компонентів (кварцовий пісок, глина, зв'язуючі, добавки).
- Дозуючі пристрої для точного відмірювання компонентів.
- Змішувачі (бігуни, лопатеві, безперервної дії).
- Транспортні системи (стрічкові конвеєри, елеватори, пневмотранспорт) для подачі компонентів та видачі готової суміші.
- Систему керування (контролери, датчики, виконавчі механізми).

Основними параметрами для розрахунку є продуктивність комплексу (тонн/год або кг/год), об'єм змішувачів, тривалість циклу змішування.

Порядок виконання роботи

Завдання 1: Визначення необхідної продуктивності комплексу

1. Вихідні дані:

- Добова потреба у готовій суміші $M_{\text{доб}}$ (тонн/добу).
- Тривалість робочої зміни $T_{\text{зм}}$ (годин).
- Кількість робочих змін на добу $N_{\text{зм}}$.
- Коефіцієнт використання робочого часу (з урахуванням перерв, обслуговування тощо) $K_{\text{викор}}$ (зазвичай 0.85 – 0.95).

2. Розрахунок потреби у суміші за годину: Необхідна годинна продуктивність комплексу $P_{\text{год}}$ (тонн/год) розраховується за формулою:

$$P_{\text{год}} = \frac{M_{\text{доб}}}{T_{\text{зм}} \cdot N_{\text{зм}} \cdot K_{\text{викор}}}$$

Приклад: $M_{\text{доб}}=100$ т/добу, $T_{\text{зм}}=8$ год, $N_{\text{зм}}=2$ зміни, $K_{\text{викор}}=0.9$.

$$P_{\text{год}} = \frac{100}{8 \cdot 2 \cdot 0,9} = \frac{100}{14,4} = 6,94 \text{ т/год}$$

Завдання 2: Вибір типу та кількості змішувачів

1. Вихідні дані:

- Розрахована годинна продуктивність $P_{\text{год}}$ (т/год або кг/год).
- Відомий час циклу змішування $t_{\text{цикл}}$ для обраного типу суміші та змішувача (хв).
 - Для формовочної суміші: $t_{\text{цикл}} = 3-5$ хв (залежить від типу змішувача та суміші).
 - Для стержневої суміші: $t_{\text{цикл}} = 1-3$ хв (залежить від типу змішувача та зв'язуючого).
- Щільність готової суміші $\rho_{\text{сум}}$ (кг/м³).

2. Розрахунок кількості порцій на годину: Кількість порцій $N_{\text{порцій}}$ (порцій/год), яку повинен видавати змішувач:

$$N_{\text{порцій}} = \frac{60}{t_{\text{цикл}}}$$

Приклад: $t_{\text{цикл}}=4$ хв.

$$N_{\text{порцій}} = \frac{60}{4} = 15 \text{ порцій/год}$$

3. Визначення необхідної разової маси порції:

Маса однієї порції $m_{\text{порції}}$ (кг/порція):

$$m_{\text{порції}} = \frac{P_{\text{год}} \cdot 1000}{N_{\text{порції}}}$$

Приклад: $P_{\text{год}}=6.94$ т/год = 6940 кг/год.

$$m_{\text{порції}} = \frac{6940}{15} = 462,67 \text{ кг/порції}$$

4. Вибір об'єму змішувача:

Необхідний об'єм змішувача $V_{\text{зміш}}$ (м^3):

$$V_{\text{зміш}} = \frac{m_{\text{порції}}}{\rho_{\text{сум}}}$$

Приклад: $\rho_{\text{сум}} = 1500 \text{ кг/м}^3$.

$$V_{\text{зміш}} = \frac{462,67}{1500} = 0,308 \text{ м}^3$$

Вибір типорозміру змішувача:

За отриманим об'ємом обирається найближчий більший стандартний типорозмір змішувача з довідників або каталогів виробників (наприклад, $0,4 \text{ м}^3$, $0,5 \text{ м}^3$, $1,0 \text{ м}^3$ тощо). *Наприклад, якщо обрано змішувач об'ємом $0,5 \text{ м}^3$.*

5. Визначення кількості змішувачів: Якщо одного змішувача недостатньо для забезпечення необхідної продуктивності, розраховується потрібна кількість. Продуктивність одного змішувача $P_{1 \text{ зміш}}$ (кг/год):

$$P_{1 \text{ зміш}} = V_{\text{зміш ном}} \cdot \rho_{\text{сум}} \cdot N_{\text{порцій}}$$

де $V_{\text{зміш ном}}$ — номінальний об'єм обраного змішувача (м^3).

Приклад: Для змішувача $0,5 \text{ м}^3$:

$$P_{1 \text{ зміш}} = 0,5 \cdot 1500 \cdot 15 = 11250 \text{ кг/год} = 11,25 \text{ т/год}.$$

Необхідна кількість змішувачів $N_{\text{зміш}}$:

$$N_{\text{зміш}} = \frac{P_{\text{год}}}{P_{1 \text{ зміш}}}$$

Результат округлюється до більшого цілого числа.

Приклад:

$$N_{\text{зміш}} = \frac{6,94}{11,25} = 0,61$$

Округляємо до 1. Отже, достатньо одного змішувача такого типорозміру.

(Якщо б $P_{\text{год}}$ було, наприклад, 15 т/год , то $N_{\text{зміш}} = 11,25 / 15 \approx 0,75 \Rightarrow 1$ змішувачі).

Завдання 3. Розробка принципової схеми автоматичного комплексу

1. Намалювати принципову схему автоматичного комплексу з урахуванням розрахованої кількості змішувачів.

- Позначити основні елементи: бункери для компонентів, дозуючі пристрої (вагові, об'ємні), змішувач(і), системи транспортування (стрічкові конвеєри, пневмотранспорт), бункер готової суміші.

- Вказати напрямки руху матеріалів.

- Схематично позначити місця встановлення датчиків (рівня, ваги), виконавчих механізмів (засувки, приводи).

2. Описати послідовність роботи комплексу в автоматичному режимі:

- Сигнал на початок циклу (від рівня в бункері готової суміші або від оператора).

- Дозування компонентів із бункерів (задана маса або об'єм).

- Завантаження компонентів у змішувач.

- Процес змішування (контроль часу).

- Вивантаження готової суміші.

- Контроль рівня у бункері готової суміші.

- Цикл повторюється.

Звіт про виконання роботи

Звіт повинен містити:

1. Титульний лист.

2. Мету роботи.

3. Вихідні дані для розрахунку.

4. Детальний хід розрахунків за Завданням 1 та Завданням 2 з проміжними та кінцевими результатами.

5. Вибір типорозміру змішувача та обґрунтування його кількості.

6. Принципову схему автоматичного комплексу (якісний малюнок).

7. Опис послідовності роботи комплексу в автоматичному режимі.

8. Висновки щодо виконаної роботи та можливостей автоматизації процесу приготування суміші.

Контрольні питання

1. Які основні переваги автоматизації процесу приготування формовочних сумішей?

2. Які типи дозуючих пристроїв ви знаєте? Де вони застосовуються?

3. Чим відрізняються змішувачі безперервної дії від циклічних?

4. Які сенсори та виконавчі механізми необхідні для функціонування даного комплексу?

5. Які фактори впливають на тривалість циклу змішування?
6. Як можна підвищити продуктивність автоматичного комплексу без додавання нових змішувачів?
7. Які особливості проектування таких комплексів для високотемпературних або агресивних сумішей?

Практична робота 2. РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Мета роботи

Навчитися розраховувати ключові параметри автоматичного комплексу лиття під тиском, включаючи необхідну кількість машин для лиття під тиском (МЛТ), продуктивність комплексу та допоміжне обладнання. Розробити принципову схему автоматизації процесу.

Теоретичні відомості

Лиття під тиском — це високопродуктивний спосіб отримання точних виливків складної конфігурації з кольорових сплавів (алюмінієві, цинкові, магнієві, мідні). Автоматизація цього процесу є критично важливою для забезпечення стабільної якості, підвищення продуктивності та зниження виробничих витрат.

Автоматичний комплекс лиття під тиском зазвичай включає:

- Машини для лиття під тиском (МЛТ): основне технологічне обладнання.
- Плавно-роздавальні печі: для підготовки та подачі рідкого металу.
- Промислові роботи: для автоматизації рутинних та небезпечних операцій (знімання виливків, змащування прес-форми, встановлення вкладишів).
- Засоби охолодження: для виливків та прес-форм.
- Обладнання для обрубкування та обробки виливків: преси, обрубні штампи, галтувальні барабани.
- Транспортні системи: конвеєри, візки для переміщення виливків.
- Система керування: контролери (ПЛК), датчики, виконавчі механізми, програмне забезпечення.

Основними параметрами для розрахунку є продуктивність комплексу (кількість виливків на годину), зусилля замикання МЛТ, маса виливка та тривалість циклу лиття.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Визначення необхідної годинної продуктивності комплексу

1. Вихідні дані:

- Річна програма випуску виливків $N_{\text{річн}}$ (шт./рік).

- Кількість робочих днів у році $D_{роб}$ (днів/рік).
- Кількість робочих змін на добу $N_{зм}$ (змін/добу).
- Тривалість робочої зміни $T_{зм}$ (годин).
- Коефіцієнт використання робочого часу $K_{викор}$ (зазвичай 0.85 – 0.95, враховує регламентні перерви, обслуговування).

2. Розрахунок необхідної годинної продуктивності: Необхідна годинна продуктивність комплексу $P_{год}$ (шт./год) розраховується за формулою:

$$P_{год} = \frac{N_{річн}}{D_{роб} \cdot N_{зм} \cdot T_{зм} \cdot K_{викор}}$$

Приклад: $N_{річн}=500000$ шт./рік, $D_{роб}=250$ днів, $N_{зм}=2$ зміни, $T_{зм}=8$ год, $K_{викор}=0.9$.

$$P_{год} = \frac{50000}{250 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,9} = \frac{50000}{3600} = 138,89 \text{ шт/год}$$

Завдання 2: Вибір МЛТ та розрахунок кількості машин

1. Вихідні дані:

- Маса виливка $m_{вил}$ (кг) (з урахуванням ливникової системи, якщо вона не обруббується одразу).
- Проекційний опір виливка (площа виливка з ливниками, що перпендикулярна напрямку змикання прес-форми) $F_{пр}$ (см²).
- Тиск пресування металу в прес-формі $P_{мет}$ (МПа) (залежить від сплаву та складності виливка, типові значення: 40-100 МПа).
- Час циклу лиття $t_{цикл}$ (секунд) (для даного типу виливка та сплаву, включає замикавання, заливання, витримку, відкриття, викидання, змащування).
 - $t_{цикл}$ може бути визначений за аналогією або прийнятий за довідковими даними (20-120 с).
- Оптимальна продуктивність однієї МЛТ за технічним паспортом $Q_{МЛТ}$ (циклів/год або шт./год). Якщо немає, розраховуємо.

2. Розрахунок необхідного зусилля замикавання МЛТ:

Зусилля замикавання $F_{зам}$ (кН або тонна-сили) повинно бути достатнім для утримання прес-форми від розкриття під тиском металу. $F_{зам}=F_{пр} \cdot P_{мет} \cdot K_{зап}$

де $K_{зап}$ – коефіцієнт запасу (1.1 – 1.25).

Переводимо $F_{зам}$ у тонна-сили, якщо $P_{мет}$ в МПа, а $F_{пр}$ в см²:

$$F_{\text{зам (тонна-сили)}} = \frac{F_{\text{пр (см2)}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot P_{\text{мет (МПа)}}}{100}$$

Приклад: $F_{\text{пр}}=150 \text{ см}^2$, $P_{\text{мет}}=70 \text{ МПа}$, $K_{\text{зап}}=1.2$.

$$F_{\text{зам}} = \frac{150 \cdot 1,2 \cdot 70}{100} = 126 \text{ тонна - сил}$$

За отриманим зусиллям $F_{\text{зам}}$ обирається типорозмір МЛТ з каталогів виробників (наприклад, МЛТ 160, МЛТ 250, де цифра вказує на зусилля замикавання у тоннах). Обираємо найближчу більшу за номінальним зусиллям машину.

3. Розрахунок теоретичної продуктивності однієї МЛТ:

$$Q_{\text{МЛТ (шт./год)}} = \frac{3600 \left(\frac{\text{с}}{\text{год}} \right)}{t_{\text{цикл (с)}}} \cdot K_{\text{МЛТ}}$$

де $K_{\text{МЛТ}}$ – коефіцієнт використання МЛТ (зазвичай 0.8-0.9, враховує простої, наладку).

Приклад: $t_{\text{цикл}}=45 \text{ с}$, $K_{\text{МЛТ}}=0.85$.

$$Q_{\text{МЛТ (шт./год)}} = \frac{3600}{45} \cdot 0,85 = 68 \text{ шт/год}$$

4. Визначення необхідної кількості МЛТ:

$$N_{\text{МЛТ}} = \frac{P_{\text{год}}}{Q_{\text{МЛТ}}}$$

Результат округлюється до більшого цілого числа.

Приклад: $P_{\text{год}}=138.89 \text{ шт./год}$, $Q_{\text{МЛТ}}=68 \text{ шт./год}$.

$$N_{\text{МЛТ}} = \frac{138,89}{68} = 2,04$$

Отже, необхідно 3 машини для лиття під тиском. (завжди округлюємо в більшу сторону, щоб забезпечити виробничу програму)

Завдання 3: Вибір допоміжного обладнання та розробка принципової схеми автоматизації

1. Вибір промислового робота:

- Визначити необхідну вантажопідйомність робота (маса виливка + маса захватного пристрою).
- Визначити кількість ступенів рухомості (зазвичай 4-6 для роботи з МЛТ).
- Визначити робочу зону (виліт, досяжність) для охоплення МЛТ, конвеєрів, ємностей.
- Вибрати модель робота з каталогів виробників (FANUC, KUKA, ABB) відповідно до розрахованих параметрів.

2. Вибір плавильно-роздавальної печі:

- Визначити необхідну продуктивність печі (кг/год) за формулою:

$$P_{\text{печі (кг/год)}} = P_{\text{год (шт./год)}} \cdot m_{\text{вил (кг/шт)}} \cdot (1 + K_{\text{втрат}})$$

де $K_{\text{втрат}}$ — коефіцієнт втрат металу (типово 0.05 – 0.15).

- Вибрати типорозмір печі.

3. Розробка принципової схеми автоматичного комплексу:

- Намалювати схему розташування основних елементів: МЛТ (розрахована кількість), плавильно-роздавальні печі, промислові роботи, конвеєри для виливків, ємності для обрізків, системи охолодження (якщо вони знаходяться у безпосередній близькості).
- Позначити напрямки руху металу та виливків.
- Схематично позначити місця встановлення датчиків (температури, рівня металу, положення прес-форми) та виконавчих механізмів (приводи робота, відкриття/закриття прес-форми, дозатори).
- Описати послідовність роботи комплексу в автоматичному режимі:
 - Підготовка МЛТ (змащування прес-форми роботом).
 - Заливка металу в камеру пресування (автоматичним дозатором).
 - Процес лиття під тиском (закриття прес-форми, впорскування, витримка).
 - Відкриття прес-форми та викидання виливка.
 - Знімання виливка роботом та переміщення його на конвеєр (або до обрубного пресу).
 - Передача сигналу про готовність до наступного циклу.
 - Моніторинг температури прес-форми.

Звіт про виконання роботи

Звіт повинен містити:

1. Титульний лист.
2. Мету роботи.
3. Вихідні дані для розрахунку.
4. Детальний хід розрахунків за Завданням 1 та Завданням 2 з проміжними та кінцевими результатами.
5. Обґрунтування вибору типорозміру МЛТ та розрахованої її кількості.
6. Обґрунтування вибору промислового робота та плавильно-роздавальної печі.
7. Принципову схему автоматичного комплексу (якісний малюнок).
8. Детальний опис послідовності роботи комплексу в автоматичному режимі.
9. Висновки щодо виконаної роботи та можливостей автоматизації процесу лиття під тиском.

Контрольні питання

1. Які переваги та недоліки має лиття під тиском порівняно з іншими способами отримання виливків?
2. Чому зусилля замикання МЛТ є одним з ключових параметрів при виборі машини?
3. Які функції може виконувати промисловий робот в автоматичному комплексі лиття під тиском?
4. Назвіть основні фактори, що впливають на тривалість циклу лиття.
5. Які системи контролю та безпеки необхідно передбачити в такому автоматичному комплексі?
6. Як впливають технологічні особливості сплаву (наприклад, температура плавлення) на вибір обладнання комплексу?
7. Запропонуйте методи підвищення енергоефективності автоматичного комплексу лиття під тиском.

Практична робота 3. РОЗРАХУНОК РОБОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ КОКІЛЬНОГО ЛИТВА

Мета роботи:

Навчитись розраховувати основні параметри робототехнічного комплексу (РТК) для автоматизації процесу кокільного литва, враховуючи технологічні вимоги та характеристики робота.

Теоретичні відомості:

Кокільне лиття – це метод лиття, при якому рідкий метал заливається в металеву форму (кокіль), що забезпечує швидке охолодження виливка та високу точність розмірів. Процес може бути автоматизований за допомогою роботів, що підвищує продуктивність, покращує якість виливків та безпеку праці.

Основні етапи роботи РТК для кокільного литва:

1. Підготовка кокіля: Очищення, нагрів та нанесення протипригарного покриття.
2. Заливка металу: Транспортування та заливка розплаву в кокіль.
3. Охолодження: Витримка виливка в кокілі до затвердіння.
4. Виймання виливка: Відкриття кокіля та виймання готового виробу.
5. Транспортування виливка: Переміщення виливка до наступної операції (наприклад, обрубкування, термообробка).

Вихідні дані для розрахунку:

Для розрахунку РТК необхідні наступні дані:

- Маса виливка ($m_{\text{виливка}}$), кг.
- Час циклу лиття ($T_{\text{цикл}}$), с (визначається технологією лиття, включаючи час заливки, затвердіння та охолодження).
- Час, необхідний на допоміжні операції (відкриття/закриття кокіля, очищення, змащування), ($T_{\text{доп}}$), с.
- Відстань переміщення роботом виливка (L), м.
- Необхідна продуктивність РТК (P), шт/год.
- Габаритні розміри кокіля та робочої зони.
- Тип металу, що відливається (впливає на температуру заливки та час охолодження).

Порядок виконання роботи:

Завдання 1. Визначення тривалості робочого циклу робота.

1. Визначте загальний час циклу лиття ($T_{\text{цикл}}$) з урахуванням технології.

2. Розрахуйте час, доступний для операцій робота ($T_{\text{робот_оп}}$), с:

$$T_{\text{робот_оп}} = T_{\text{цикл}} - T_{\text{доп.}}$$

3. Цей час включає переміщення робота для забору виливка, його транспортування та укладання.

4. Визначте необхідну швидкість робота ($V_{\text{робот}}$), м/с, якщо відомі відстані переміщення:

$$V_{\text{робот}} = \frac{\sum L_i}{T_{\text{робот_оп}}}$$

де L_i – відстані окремих переміщень робота.

Завдання 2. Вибір типу робота та його вантажопідйомності.

1. Визначте необхідну вантажопідйомність робота ($Q_{\text{робот}}$), кг:

$$Q_{\text{робот}} \geq m_{\text{виливка}} + m_{\text{захвату}}$$

де $m_{\text{захвату}}$ – маса захоплюючого пристрою (як правило, приймається 5-10% від $m_{\text{виливка}}$ або за даними виробника).

2. Виберіть тип робота (наприклад, шарнірний, декартовий, SCARA) виходячи з конфігурації робочої зони, необхідної точності та кількості ступенів свободи. Для кокільного литва часто використовуються шарнірні роботи через їх гнучкість.

3. Визначте необхідний радіус дії робота ($R_{\text{робот}}$), м, виходячи з габаритів кокіля, розташування зони вивантаження та інших елементів комплексу.

Завдання 3. Розрахунок продуктивності РТК.

1. Розрахуйте фактичний час циклу РТК ($T_{\text{РТК}}$), с:

$$T_{\text{РТК}} = T_{\text{цикл}} + T_{\text{переміщення робота}}$$

де $T_{\text{переміщення робота}}$ – сумарний час, який робот витрачає на всі необхідні переміщення та операції в рамках циклу.

2. Розрахуйте теоретичну продуктивність РТК ($P_{\text{теор}}$), шт/год:

$$P_{\text{теор}} = \frac{3600}{T_{\text{РТК}}}$$

3. Порівняйте теоретичну продуктивність з необхідною (P). За необхідності скоригуйте параметри РТК або технологічного процесу.

Завдання 4: Оцінка економічної ефективності (спрощена).

1. Орієнтовна вартість робота та периферійного обладнання.
2. Витрати на впровадження (монтаж, наладка, програмування).
3. Економія від впровадження (зменшення кількості робітників, підвищення якості, зменшення браку, збільшення продуктивності).

Приклад розрахунку:

Вихідні дані:

- Маса виливка ($m_{\text{виливка}}$): 5 кг.
- Час циклу лиття ($T_{\text{цикл}}$): 60 с (включає заливку, затвердіння, охолодження).
- Час на допоміжні операції ($T_{\text{доп}}$): 15 с (відкриття/закриття кокіля, очищення).
- Відстань переміщення роботом виливка: 2 м (від кокіля до конвеєра).
- Маса захвату: 0.5 кг.
- Необхідна продуктивність (P): 50 шт/год.

Розрахунок:

1. Тривалість робочого циклу робота:

- Час, доступний для операцій робота ($T_{\text{робот оп}}$): $60\text{с} - 15\text{с} = 45\text{с}$.
 - Припустимо, що робот витрачає на переміщення виливка 5 с, на очікування 5 с, на позиціонування 5 с. Загалом $T_{\text{переміщення робота}} = 15\text{с}$ (це приблизний час, який потрібно буде уточнювати під час вибору конкретної моделі робота та його програмування).
 - Необхідна швидкість робота для переміщення на 2 м:
 $V_{\text{робот}} = 2 / 5 = 0.4\text{м/с}$.
- Ця швидкість є реалістичною для промислових роботів.

2. Вибір типу робота та його вантажопідйомності:

- Необхідна вантажопідйомність робота ($Q_{\text{робот}}$): $5\text{кг} + 0.5\text{кг} = 5.5\text{кг}$.
- Для такої вантажопідйомності підійде промисловий шарнірний робот (наприклад, KUKA KR 6 R900 sixx, Fanuc LR Mate 200iD/7L або аналогічний), що має радіус дії, достатній для обслуговування кокіля та зони вивантаження.

3. Розрахунок продуктивності РТК:

- Фактичний час циклу РТК ($T_{\text{РТК}}$): $60 + 15 = 75\text{с}$ (якщо робот виконує операції послідовно з технологічним процесом). Однак, якщо робот може

паралельно виконувати деякі операції (наприклад, підготовку кокіля, поки попередній виливок охолоджується), то $T_{РТК}$ може бути ближчим до $T_{цикл}$. В даному випадку припускаємо, що час роботи робота вкладається в загальний цикл, або він додається до нього. Якщо робот *чекає* закінчення циклу лиття, а потім виконує свої операції, то фактичний час циклу буде дорівнювати $T_{цикл}=60\text{с}$. Якщо ж робот *додає* час до циклу (наприклад, через те, що його рухи не можуть повністю перекриватися з іншими операціями), тоді

$$T_{РТК} = T_{цикл} + T_{\text{додаткові дії робота}}.$$

Для простоти візьмемо, що $T_{РТК} = T_{цикл}$ (тобто, робот не є вузьким місцем).

- Теоретична продуктивність РТК ($P_{теор}$): $3600 / 60\text{с} = 60 \text{ шт/год}$.
- $P_{теор} = 60 \text{ шт/год} > P_{необхідна} = 50 \text{ шт/год}$. Отже, обраний варіант РТК задовольняє вимогам продуктивності.

Висновки.

За результатами розрахунків було визначено, що для автоматизації процесу кокільного лиття виливків масою 5 кг при часі циклу 60 с, необхідний робот з вантажопідйомністю не менше 5.5 кг та здатністю переміщувати виливок на відстань 2 м зі швидкістю 0.4 м/с. Продуктивність такого РТК може сягати 60 шт/год, що задовольняє задану вимогу у 50 шт/год. Для детального проектування необхідно провести вибір конкретної моделі робота, розробити захоплюючий пристрій та спроектувати компоновку робочої зони.

Контрольні запитання

1. Що таке кокільне лиття і які його основні переваги в порівнянні з іншими методами лиття?
2. Назвіть основні етапи технологічного процесу кокільного литва, які можуть бути автоматизовані робототехнічним комплексом.
3. Які вихідні дані є критично важливими для початку розрахунку параметрів робототехнічного комплексу?
4. Як розрахувати необхідну вантажопідйомність робота для заданого виливка? Які додаткові фактори слід врахувати?
5. Які типи промислових роботів найбільш часто використовуються для обслуговування ливарних машин і чому?
6. Яким чином час циклу лиття та час допоміжних операцій впливають на загальну тривалість робочого циклу РТК?

7. Які параметри робота (крім вантажопідйомності) є важливими для вибору при проектуванні РТК для кокільного литва?

8. Які переваги автоматизації кокільного литва за допомогою РТК в порівнянні з ручним виконанням?

9. Які потенційні ризики або складнощі можуть виникнути при впровадженні РТК у ливарне виробництво?

10. Як можна оптимізувати роботу РТК, щоб підвищити його продуктивність?

11. Як можна врахувати безпеку праці при проектуванні робототехнічного комплексу для ливарного цеху?

Практична робота 4. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТА ДЛЯ ЛИТВА ПО ВИТОПЛЮВАНИМ МОДЕЛЯМ

Мета роботи

Набути практичних навичок у розрахунку ключових конструктивних та технологічних параметрів промислового робота, призначеного для автоматизації процесів литва по витоплюваним моделям, з урахуванням особливостей технології та вимог до робототехнічного комплексу.

Теоретичні відомості

Лиття по витоплюваним моделям (точне лиття) — це технологічний процес виготовлення виливків складної конфігурації з високою точністю розмірів та якістю поверхні. Він включає наступні основні етапи:

1. Виготовлення моделей: Виготовлення витоплюваних моделей (зазвичай з парафіну або воску) у прес-формах.
2. Формування блоків: Збірка окремих моделей у блоки (кущі) шляхом приварювання до ливника.
3. Нанесення вогнетривкого покриття (облицювання): Занурення блоків моделей у суспензію (наприклад, на основі кварцового піску та зв'язуючої речовини) та посипання вогнетривким піском. Цей процес повторюється кілька разів для формування достатньо міцної оболонкової форми.
4. Витоплення моделей: Видалення воскових моделей з оболонкових форм шляхом нагріву.
5. Прожарювання форм: Випалювання форм для надання їм необхідної міцності та видалення залишків модельного складу.
6. Заливка металу: Заливка розплавленого металу в гарячі форми.
7. Вибивка виливків: Руйнування форми та вилучення готових виливків.
8. Обрубкування та очищення: Відокремлення виливків від ливників, очищення.

Роботизація процесу нанесення вогнетривкого покриття є одним з найпоширеніших застосувань роботів у цьому виді литва, оскільки вона дозволяє забезпечити високу точність та рівномірність покриття, зменшити час циклу та покращити умови праці.

Вихідні дані для розрахунку

Для розрахунку параметрів робота необхідні наступні дані:

- Маса блоку моделей (з ливниками) до нанесення покриття ($m_{\text{модель}}$), кг.
- Маса блоку моделей після повного нанесення покриття (з урахуванням налипання суспензії та піску на всіх шарах) ($m_{\text{кінцева}}$), кг.
- Габаритні розміри блоку моделей (довжина L , ширина W , висота H), м.
- Кількість шарів вогнетривкого покриття ($N_{\text{шарів}}$).
- Час сушіння одного шару ($T_{\text{сушка}}$), с.
- Час занурення в суспензію ($T_{\text{занурення}}$), с.
- Час посипання піском ($T_{\text{посипка}}$), с.
- Розміри робочої зони (відстані між ваннами з суспензією, бункерами з піском, сушильними камерами), м.
- Необхідна продуктивність лінії ($P_{\text{необхідна}}$), блоків/год.

Порядок виконання роботи:

Завдання 1. Розрахунок часу циклу роботи робота

1. Визначте загальний час нанесення одного шару покриття ($T_{\text{шар}}$), с:

$$T_{\text{шар}} = T_{\text{занурення}} + T_{\text{посипка}} + T_{\text{переміщення робота між операціями}}$$

Примітка: Час переміщення робота між операціями слід враховувати як сумарний час, необхідний для переміщення блоку між ванною з суспензією, бункером з піском та місцем очікування для наступного шару. Для початкового розрахунку можна прийняти середній час переміщення (наприклад, 5-10 секунд на одне переміщення).

2. Визначте сумарний час, необхідний для роботи робота над одним блоком моделей ($T_{\text{робот блок}}$), с:

$$T_{\text{робот блок}} = N_{\text{шарів}} \times (T_{\text{занурення}} + T_{\text{посипка}} + T_{\text{переміщення робота між операціями}})$$

Примітка: Час сушіння відбувається між шарами і не є частиною активної роботи робота над одним блоком (робот в цей час може працювати над іншим блоком).

3. Визначте повний технологічний цикл для одного блоку моделей
($T_{\text{технологічний цикл}}$), с:

$$T_{\text{технологічний цикл}} = T_{\text{робот блок}} + (N_{\text{шарів}} - 1) \times T_{\text{сушка}}$$

Примітка: Цей час відображає загальний час, протягом якого один блок моделей проходить весь процес нанесення покриття, включаючи сушку.

Завдання 2. Вибір типу робота та розрахунок вантажопідйомності

1. Розрахуйте необхідну вантажопідйомність робота ($Q_{\text{робот}}$), кг:

$$Q_{\text{робот}} \geq m_{\text{кінцева}} + m_{\text{захвату}}$$

де $m_{\text{захвату}}$ — маса захоплюючого пристрою (приймається орієнтовно 5-10% від максимальної маси блоку або за даними виробника схожих захоплюючих пристроїв).

Примітка: Важливо врахувати, що робот повинен бути здатним витримувати навантаження при максимальній масі блоку після нанесення всіх шарів.

2. Виберіть тип робота (наприклад, шарнірний, декартовий). Для операцій занурення та обертання, що вимагають високої гнучкості та великого робочого простору, зазвичай обирають шарнірні промислові роботи з 6 ступенями свободи.

3. Визначте необхідний радіус дії (виліт) робота ($R_{\text{робот}}$), м, виходячи з розмірів робочої зони, розташування ванн, бункерів та сушильних камер. Радіус дії повинен дозволити роботу досягати всіх необхідних точок без перешкод.

Примітка: Врахуйте також необхідність обертання та нахилу блоку для рівномірного покриття.

Завдання 3. Розрахунок необхідної кількості роботів та продуктивності РТК

1. Розрахуйте максимальну теоретичну продуктивність одного робота
($P_{\text{один робот}}$), блоків/год:

$$P_{\text{один робот}} = \frac{3600}{T_{\text{робот блок}}}$$

Примітка: Цей показник показує, скільки блоків один робот може обробити за годину, якщо він працює над ними послідовно без урахування часу сушки.

2. Визначте мінімальну кількість роботів ($N_{\text{роботів}}$), необхідну для досягнення заданої продуктивності лінії:

$$N_{\text{роботів}} = \frac{P_{\text{необхідна}} \cdot T_{\text{технологічний цикл}}}{3600}$$

Примітка: Округляйте до більшого цілого числа. Важливо, щоб сумарна продуктивність роботів відповідала або перевищувала необхідну продуктивність усієї лінії.

3. Розрахуйте фактичну продуктивність РТК ($P_{\text{РТК}}$), блоків/год:

$$P_{\text{РТК}} = N_{\text{роботів}} \times \frac{3600}{T_{\text{технологічний цикл}}}$$

Примітка: Якщо процес синхронізований, і роботи паралельно обробляють різні блоки, тоді продуктивність РТК буде визначатися найдовшою операцією або кількістю паралельних потоків. У більшості випадків, при автоматизації облицювання, продуктивність РТК обмежується часом сушіння та кількістю блоків, які одночасно обробляються.

Завдання 4. Оцінка додаткових параметрів та вимог

1. Точність позиціонування та повторюваність: Визначте необхідну точність для забезпечення рівномірного покриття та уникнення дефектів.

2. Захист робота: Враховуйте агресивне середовище (абразивні частинки, волога) та необхідність відповідного ступеня захисту ІР.

3. Тип захвату: Опишіть вимоги до захвату (може бути механічним, вакуумним, спеціальним). Для блоків моделей зазвичай використовуються спеціальні механічні захвати, які можуть утримувати блок під різними кутами.

4. Система управління: Оцініть вимоги до системи управління роботом (кількість програм, можливість інтеграції з іншими системами).

Приклад розрахунку:

Вихідні дані:

- Маса блоку моделей ($m_{\text{модель}}$): 2 кг.
- Маса кінцевого блоку з покриттям ($m_{\text{кінцева}}$): 8 кг.
- Габаритні розміри блоку моделей: 0.3 x 0.3 x 0.5 м.

- Кількість шарів покриття ($N_{\text{шарів}}$): 7.
- Час сушіння одного шару ($T_{\text{сушка}}$): 3 години (10800 с).
- Час занурення в суспензію ($T_{\text{занурення}}$): 15 с.
- Час посипання піском ($T_{\text{посипка}}$): 10 с.
- Час переміщення робота між операціями ($T_{\text{переміщ. робота між операціями}}$): 5 с.
- Маса захвату ($m_{\text{захвату}}$): 1 кг.
- Необхідна продуктивність лінії ($P_{\text{необхідна}}$): 20 блоків/зміну (8 годин).

Розрахунок:

1. Розрахунок часу циклу роботи робота:

- Час нанесення одного шару ($T_{\text{шар}}$): $15 + 10 + 5 = 30$ с.
- Сумарний час роботи робота над одним блоком ($T_{\text{робот блок}}$): $7 \times 30 = 210$ с.
- Повний технологічний цикл для одного блоку ($T_{\text{технологічний цикл}}$): $210 + (7-1) \times 10800 = 210 + 6 \times 10800 = 210 + 64800 = 65010$ с (приблизно 18.06 години).

2. Вибір типу робота та розрахунок вантажопідйомності:

- Необхідна вантажопідйомність робота ($Q_{\text{робот}}$): $8 + 1 = 9$ кг.
- Вибір типу робота: Шарнірний промисловий робот (6 ступенів свободи) з вантажопідйомністю 10-20 кг (наприклад, Fanuc M-10iA, KUKA KR 10 R1100).
- Необхідний радіус дії: враховуючи габарити блоку (0.5 м) та відстані між ваннами/бункерами (припустимо, до 2-3 м), робот повинен мати виліт не менше 1.5-2 м. Більшість середньовантажних шарнірних роботів задовольняють цій вимозі.

3. Розрахунок необхідної кількості роботів та продуктивності РТК:

- Необхідна продуктивність в блоках/годину:
 $P_{\text{необхідна}} = 20 / 8 = 2,5$ блоків/год.
- Максимальна теоретична продуктивність одного робота ($P_{\text{один робот}}$):
 $3600/210 \approx 17,14$ блоків/год.
- Мінімальна кількість роботів ($N_{\text{роботів}}$):

$$N_{\text{роботів}} = \frac{2,5 \cdot 65010}{3600} = 45,14$$

Округляємо до 46 роботів.

Примітка: Цей розрахунок показує, що час сушіння є домінуючим фактором. Для досягнення такої продуктивності при такому довгому часі сушіння, потрібно або дуже багато роботів, які працюють паралельно, або ж слід організувати виробництво таким чином, щоб кожен робот обслуговував кілька сушильних камер, або щоб існувало кілька паралельних технологічних ліній. У реальних умовах, один робот зазвичай обслуговує певну кількість сушильних стелажів/камер, переміщуючи блоки між ними.

У типовому процесі литва по витоплюваним моделям один робот обслуговує *багато* блоків, які знаходяться на різних стадіях сушіння. Він послідовно виконує операції "занурення-посипання" для одного блоку, потім для іншого, потім повертається до першого, коли той висохне, і т.д. Тому, кількість роботів буде визначатися не повним технологічним циклом, а часом, який робот витрачає на обслуговування одного повного циклу "занурення-посипання" для *кожного* з одночасно оброблюваних блоків (тобто $T_{\text{шар}}$), а також кількістю одночасно оброблюваних блоків.

Перерахуємо з урахуванням реалій: Якщо робот може виконувати операцію облицювання для одного блоку за $T_{\text{шар}} = 30$ с, то його теоретична продуктивність щодо "обробки одного шару на одному блоці" становить $3600/30=120$ операцій на годину. Кількість блоків, які одночасно перебувають у процесі облицювання (від першого занурення до останнього посипання), визначається часом сушіння та кількістю шарів. Якщо у нас 7 шарів і 6 сушок між ними, то це 6 сушок по 3 години. Якщо необхідно 2.5 блоків/годину, і кожен блок проходить 7 операцій (шарів), то нам потрібно $7 * 2.5 = 17.5$ операцій облицювання на годину. Один робот може виконати 120 таких операцій. Отже, **одного робота буде цілком достатньо** для виконання облицювання для такої продуктивності. Він матиме достатньо часу, щоб обслуговувати кілька сушильних камер.

- Фактична продуктивність РТК ($P_{\text{РТК}}$): Якщо один робот може виконувати 120 операцій "шар/годину", а нам потрібно лише 17.5 операцій "шар/годину" для досягнення 2.5 блоків/годину, то один робот є більш ніж достатнім.

Висновки

За результатами розрахунків, для автоматизації процесу нанесення вогнетривкого покриття на блоки моделей масою до 8 кг з 7 шарами та часом сушіння 3 години/шар, необхідний шарнірний промисловий робот з

вантажопідйомністю близько 10-20 кг та достатнім радіусом дії (близько 1.5-2 м).

Один такий робот здатний забезпечити необхідну продуктивність у 2.5 блоків/годину, оскільки час активної роботи робота над одним шаром значно менший, ніж час сушіння між шарами. Робот зможе ефективно працювати з кількома блоками паралельно, переміщуючи їх між ваннами, бункерами та сушильними камерами.

Контрольні запитання

1. Поясніть сутність технології литва по витоплюваним моделям. Які етапи вона включає?
2. Які переваги має лиття по витоплюваним моделям порівняно з піщаним литтям?
3. Чому саме етап нанесення вогнетривкого покриття (облицювання) часто автоматизується роботами в даній технології?
4. Які вихідні дані є ключовими для розрахунку параметрів робота при автоматизації процесу облицювання?
5. Як розрахувати необхідну вантажопідйомність робота для роботи з блоками моделей? Які фактори, окрім маси самого виробу, потрібно врахувати?
6. Який тип промислового робота є найбільш доцільним для операцій занурення та посипання блоків моделей, і чому?
7. Які додаткові конструктивні вимоги (крім вантажопідйомності та радіуса дії) висуваються до роботів, що працюють в умовах ливарного виробництва (наприклад, пил, волога, абразивні частинки)?
8. Назвіть переваги та потенційні недоліки роботизації процесу облицювання в ливарному виробництві.
9. Як можна оптимізувати процес роботи РТК, щоб максимально ефективно використовувати робочий час робота та підвищити продуктивність?

Практична робота 5. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНІ ВИЛИВКІВ

Мета роботи

Набути практичних навичок у розрахунку та виборі основних конструктивних і технологічних параметрів автоматичного комплексу (АК) для очистки поверхні виливків, враховуючи специфіку виробництва та вимоги до якості очистки.

Теоретичні відомості

Очистка поверхні виливків є одним з ключових етапів ливарного виробництва, що забезпечує видалення пригару, залишків формувальної суміші, облою, задирок та інших дефектів, що утворюються в процесі лиття. Якісна очистка важлива для подальшої механічної обробки, нанесення покриттів та естетичного вигляду виробів.

Автоматичні комплекси для очистки можуть використовувати різні методи, серед яких найпоширенішими є:

- Дробоструминна (або дробометна) очистка: Видалення забруднень за допомогою високошвидкісного потоку металевого дробу або іншого абразиву. Це високоефективний метод для великих об'ємів та складних поверхонь.
- Галтування (барабанна очистка): Очистка та полірування виливків шляхом їхнього обертання у барабані з абразивними елементами. Підходить для невеликих виливків.
- Піскоструминна очистка: Використання піску (або інших неметалевих абразивів) для видалення забруднень. Застосовується для делікатних виливків або коли металевий дріб небажаний.
- Гідроочистка: Використання струменів води під високим тиском.

Вибір методу очистки залежить від матеріалу виливків, їх розмірів, форми, необхідної якості поверхні та обсягів виробництва. Автоматизація дозволяє значно підвищити продуктивність, стабільність якості та безпеку праці.

Вихідні дані для розрахунку:

Для розрахунку параметрів АК необхідні наступні дані:

- Матеріал виливків (наприклад, чавун, сталь, алюмінієві сплави).
- Тип виливків (малі, середні, великі, складні, прості).

- Габаритні розміри виливків (довжина $L_{\text{виливок}}$, ширина $W_{\text{виливок}}$, висота $H_{\text{виливок}}$), мм.
- Маса одного виливка ($m_{\text{виливок}}$), кг.
- Добовий (або річний) об'єм виробництва ($V_{\text{виробн}}$), шт/доба (або кг/доба).
- Вид забруднень (пригар, формовочна суміш, облой, корозія).
- Необхідний ступінь чистоти поверхні.
- Доступний робочий простір для розміщення комплексу, м.
- Енергоносії (наявність електрики, стисненого повітря, води).

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Вибір методу очистки та типу обладнання

1. Проаналізуйте вихідні дані щодо матеріалу, розмірів та виду забруднень виливків.
2. Виберіть найбільш підходящий метод очистки (дробоструминна, галтування тощо) та обґрунтуйте свій вибір.
 - Наприклад, для сталевих виливків великих розмірів з товстим пригаром – дробоструминна. Для невеликих латунних виливків з легким облоєм – галтування.
3. Визначте загальний тип автоматичного обладнання:
 - Для дробоструминної очистки: підвісна дробоструминна установка, прохідна (тунельна) дробоструминна установка, дробеметна установка барабанного типу.
 - Для галтування: галтувальний барабан, віброгалтувальна машина.
 - Для піскоструминної очистки: піскоструминна камера з ручним або автоматизованим маніпулятором.

Завдання 2. Розрахунок необхідної продуктивності комплексу

1. Визначте необхідну годинну продуктивність комплексу ($P_{\text{необхідна}}$), шт/год або кг/год, виходячи з добового об'єму виробництва та ефективного робочого часу (наприклад, 8 годин/зміна).

$$P_{\text{необхідна}} = \frac{V_{\text{виробн}} \text{ (шт/доба або кг/доба)}}{\text{Кількість робочих годин на добу}}$$

2. Оцініть час циклу очистки одного виливка (або партії виливків) ($T_{\text{цикл очистки}}$), с. Цей параметр залежить від методу очистки, складності виливка,

ступеня забруднення та може бути визначений з довідників або експериментально.

Завдання 3. Розрахунок конструктивних параметрів обладнання

1. Визначте оптимальні розміри робочої камери (барабана, тунелю):

- Для дробоструминної установки барабанного типу: Об'єм барабана повинен дозволити вільне переміщення виливків. Мінімальний об'єм завантаження становить 10-20% від загального об'єму барабана. Виберіть типорозмір барабана, що відповідає об'єму разового завантаження виливків.

- Для підвісної або тунельної установки: Габарити камери повинні забезпечувати вільне розміщення найбільшого виливка або групи виливків. Мінімальні розміри робочого простору визначаються $L_{\text{виливок}}$, $W_{\text{виливок}}$, $H_{\text{виливок}}$ з додаванням технологічних зазорів для роботи сопел/турбін.

2. Визначте кількість та потужність абразивних турбін (для дробоструминних машин) або сопел (для піскоструминних):

- Кількість турбін залежить від розмірів камери та необхідної продуктивності. Зазвичай 2-4 турбіни для камер середнього розміру, 6-8 і більше для великих тунельних установок.

- Потужність турбіни впливає на швидкість потоку дробу та ефективність очистки. Вибирається за каталогами обладнання.

3. Розрахуйте витрати абразиву (дробу/піску): Залежить від типу абразиву, його розміру, інтенсивності очистки та ступеня утилізації. Приймається з довідників або даних виробників.

4. Визначте потужність приводів (транспортерів, барабанів, вентиляторів системи пиловловлення), виходячи з маси виливків та об'єму повітря, що відкачується.

Завдання 4. Розрахунок параметрів автоматизації та управління

1. Опишіть логіку роботи автоматичного комплексу:

- Завантаження виливків (вручну, конвеєром, роботом).
- Переміщення в робочу камеру.
- Процес очистки (час, інтенсивність).
- Вивантаження очищених виливків.
- Система фільтрації та регенерації абразиву (для дробоструминних).
- Система пиловловлення.

2. Визначте необхідність використання робота-маніпулятора:

- Для завантаження/вивантаження виливків (якщо вони великі або мають складну форму).
 - Для утримання виливка під час очистки (у разі піскоструминної камери).
 - Розрахуйте необхідну вантажопідйомність та радіус дії робота, якщо його використання є доцільним.
3. Вимоги до системи управління:
- Тип контролера (ПЛК).
 - Наявність людино-машинного інтерфейсу (НМІ) для контролю та налаштування параметрів.
 - Датчики контролю процесу (рівень абразиву, тиск повітря, температура, наявність виливків).
 - Системи безпеки (блокування дверей, аварійні кнопки).

Завдання 5. Оцінка економічної ефективності (спрощена)

1. Орієнтовна вартість обладнання та монтажу.
2. Експлуатаційні витрати (електроенергія, абразив, запчастини, обслуговування).
3. Економія (зменшення ручної праці, підвищення якості, зменшення браку, збільшення продуктивності).

Приклад розрахунку:

Вихідні дані:

- Матеріал виливків: Чавун.
- Тип виливків: Середні, прості (розміри 100x100x50 мм).
- Маса одного виливка: 1 кг.
- Добовий об'єм виробництва: 1200 шт/доба.
- Вид забруднень: Пригар, залишки формувальної суміші.
- Необхідний ступінь чистоти: Sa 2.5 (майже чиста поверхня).
- Робочий час: 2 зміни по 8 годин = 16 годин/доба.

Розрахунок.

1. Вибір методу очистки та типу обладнання:
 - Для чавунних виливків з пригаром та залишками суміші, високою продуктивністю та високим ступенем чистоти оптимальним є дробоструминна очистка.
 - З огляду на середні розміри та відносну простоту форми, підійде дробоструминна установка барабанного типу або підвісна дробоструминна

установка з конвеєром. Обираємо барабанну дробоструминну установку як більш ефективну для великих об'ємів та середніх виливків.

2. Розрахунок необхідної продуктивності комплексу:

- Необхідна годинна продуктивність ($P_{\text{необхідна}}$): $1200/16 = 75$ шт/год.

3. Розрахунок конструктивних параметрів обладнання:

- Припустимо, що за один цикл барабанна установка може обробити 30 виливків (загальна маса партії 30 кг).

- Орієнтовний час циклу очистки однієї партії ($T_{\text{цикл очистки}}$): 5-7 хвилин (300...420 с). Приймаємо 360 с (6 хвилин), включаючи завантаження/вивантаження.

- Кількість партій на годину: $3600 / 360 = 10$ партій / год.

- Продуктивність установки: $10 \text{ партій / год} \times 30 \text{ шт / партія} = 300$ шт/год.

- Продуктивність установки (300 шт/год) значно перевищує необхідну (75 шт/год). Це означає, що установка буде працювати неповний час або може обробляти більший об'єм виливків.

- Розміри барабана: Для 30 кг виливків (100x100x50 мм, що дає приблизно 0,5 літра на виливок, 15 літрів на партію), потрібен барабан об'ємом близько 150...200 літрів (з урахуванням 10...20% завантаження). Вибираємо стандартний типорозмір, наприклад, дробоструминну установку з об'ємом барабана 200 літрів.

- Кількість та потужність турбін: Для такого об'єму зазвичай достатньо 1-2 турбін потужністю 7,5...11 кВт кожна. Вибираємо 1 турбіну потужністю 11 кВт.

- Витрата дробу: Для дробу сталевого литого (діаметр 0,5...0,8 мм) орієнтовна витрата становить 0,5...1,5 кг/год на кожні 100 кг оброблених виливків. Наш комплекс обробляє $300 \text{ шт/год} \times 1 \text{ кг/шт} = 300 \text{ кг/год}$. Витрата дробу: $300 \text{ кг / год} \times 1 \text{ кг дробу / 100 кг виливків} = 3 \text{ кг / год}$.

4. Розрахунок параметрів автоматизації та управління:

- Логіка роботи: Автоматичне завантаження (наприклад, ковшовий елеватор), закриття дверей, пуск турбіни, обертання барабана заданий час, зупинка турбіни, відкриття дверей, вивантаження виливків на конвеєр.

- Робот-маніпулятор: Для цього типу виливків та обраного обладнання робот для завантаження/вивантаження не є обов'язковим, оскільки це може бути реалізовано механічними засобами (ковшовий завантажувач, конвеєр).

- Система управління: Промисловий логічний контролер (ПЛК) для керування послідовністю операцій, двигунами, пневмоциліндрами. Панель

оператора (НМІ) для моніторингу та налаштування. Датчики контролю рівня дробу, тиску повітря, положення дверей.

Висновки

За результатами розрахунків, для автоматичної очистки чавунних виливків масою 1 кг (при обсязі 1200 шт/добу) доцільно використовувати автоматичний дробоструминний комплекс барабанного типу з об'ємом барабана 200 літрів та однією турбіною потужністю 11 кВт. Такий комплекс забезпечить необхідну продуктивність (300 шт/год при необхідних 75 шт/год) та високу якість очистки. Автоматизація буде включати ПЛК для управління всіма етапами процесу, що мінімізує ручну працю та забезпечить стабільність виробництва.

Контрольні запитання

1. Яке призначення етапу очистки поверхні виливків у ливарному виробництві?
2. Назвіть основні види забруднень, які необхідно видаляти з поверхні виливків.
3. Опишіть принцип дії дробоструминної (дробометної) очистки. Які її переваги та недоліки?
4. Коли доцільно застосовувати галтування (барабанну очистку) для очистки виливків, а коли – дробоструминну?
5. Які вихідні дані є ключовими для вибору методу очистки та розрахунку параметрів автоматичного комплексу?
6. Як розрахувати необхідну годинну продуктивність очисного комплексу, виходячи з добового обсягу виробництва?
7. Які фактори впливають на час циклу очистки одного виливка (або партії виливків)?
8. Для чого потрібна система пиловловлення та регенерації абразиву в дробоструминному комплексі?
9. В яких випадках доцільно використовувати робота-маніпулятора для завантаження/вивантаження виливків в очисний комплекс?
10. Назвіть основні елементи системи управління автоматичним очисним комплексом. Які функції вони виконують?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Григоров О. В., Кулаков С. В., Шаповалов Ю. В. Робототехнічні системи. Підручник. Київ: НТУУ "КПІ", 2018.
2. Лазаренко А. Б. Теорія та проєктування роботів. Навчальний посібник. Київ: НТУУ "КПІ", 2015.
3. Володько В. В., Воронко В. В. Промислові роботи та маніпулятори: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013.
4. Siciliano, Bruno; Khatib, Oussama. Springer Handbook of Robotics. Springer, 2016
5. Siegwart, Roland; Nourbakhsh, Illah R.; Scaramuzza, Davide. Introduction to Autonomous Mobile Robots. The MIT Press, 2011

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Практична робота 1. РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ ЗМІШУВАЧІВ.....	4
2. Практична робота 2. РОЗРАХУНОК АВТОМАТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЛИТВА ПІД ТИСКОМ.....	9
3. Практична робота 3. РОЗРАХУНОК РОБОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ КОКІЛЬНОГО ЛИТВа	14
4. Практична робота 4. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТА ДЛЯ ЛИТВА ПО ВИТОПЛЮВАНИМ МОДЕЛЯМ.....	19
5. Практична робота 5. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНІ ВИЛИВКІВ.....	26
Рекомендована література.....	32

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання

практичних робіт

з навчальної дисципліни “Робототехнічні системи та комплекси”

для студентів денної та заочної форми навчання

за спеціальністю G10 Металургія

Українською мовою

Укладач

БЕРЛІЗЄВА Тетяна Вікторівна

Відповідальний за випуск

проф. *Акімов О. В.*

Роботу до видання рекомендувала

проф. *Пономаренко О.І.*

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 664

Підп. до друку 2024 р. Гарнітура Times New Roman

Видавничий центр НТУ «ХП»,

вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від

21.08.2017 р.

Електронна версія