

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Український державний університет науки і технологій**

---

Кафедра «Галузевого машинобудування»

*В авторській редакції*

**РОЗРАХУНКИ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ  
ЕЛЕМЕНТІВ**

**РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА  
ПРОДУКТИВНОСТІ ОБТИСКНИХ СТАНІВ**

Навчально-методичні рекомендації  
до розрахункового завдання

ДНПРО  
2023

УДК 669.162.263.06

Р 65

Упорядники:

*С. В. Білодіденко, В. І. Гануш, Г. М. Біліченко*

Електронний аналог  
друкованого видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми  
133 «Галузеве машинобудування»

Протокол №1 від 04.09.2023 р.

Р 65 Розрахунки механічних систем та їх елементів. Розрахунок потужності та продуктивності обтискних станів: навчально-методичні рекомендації до розрахункового завдання / упоряд. С. В. Білодіденко, В. І. Гануш, Г. М. Біліченко; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро: УДУНТ, 2023. – 20 с.

У навчально-методичних рекомендаціях викладена методика виконання розрахункового завдання з визначення потужності та продуктивності обтискного стану, наведено вихідні данні до завдання, приклад програми виконання завдання в електронній таблиці Excel, таблиць вихідних даних для прикладу і електронних таблиць вирішення цього прикладу в електронній таблиці Excel.

Призначений для опанування освітньої компоненти «Розрахунки механічних систем та їх елементів» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» для ОПП «Галузеве машинобудування» освітнього рівня бакалавр.

Іл. 4, табл. 2, бібліогр. 3 назв.

© Білодіденко С. В., Гануш В. І., Біліченко Г. М., 2023

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2023

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 4  |
| 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДНОГО ДВИГУНА.....                                     | 5  |
| 2. ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДВИГУНА.....   | 6  |
| 3. ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДВИГУНА.....  | 7  |
| 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДВИГУНА.....  | 8  |
| 5. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДРІЗКІВ ЧАСУ РІЗНОМАНІТНИХ ПЕРІОДІВ РОБОТИ ДВИГУНА В ПЛИНІ ОДНОГО ПРОХОДУ..... | 9  |
| 6. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО МОМЕНТУ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ПОТУЖНОСТІ ПРОКАТНОГО ДВИГУНА.....       | 13 |
| 7. ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОКАТНОГО СТАНУ.....   | 14 |
| 8. ВИХІДНІ ДАНІ ДО РОЗРАХУНКУ.....   | 14 |
| БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....  | 17 |
| ДОДАТОК.....   | 18 |

## ВСТУП

При виконанні завдання необхідно виконати перевірочний розрахунок еквівалентної потужності приводного двигуна або двигунів обтискного стану прокатного стану при прокатці заготовки (блюма чи сляба) заданих розмірів зі зливка заданих розмірів та маси. В завданні наведено дані про потужність та кількість приводних двигунів стана, діаметри валків, моменти інерції частин головної лінії стана, що обертаються.

По заданим розмірам поперечних перетинів вихідного зливка та заготовки, що отримується, необхідно самостійно призначити кількість проходів, обтиски в кожному проході, номери проходів, після яких виконується кантування зливка. При розрахунку розмірів перетину після кожного проходу необхідно враховувати уширення  $\Delta b$  перетину, тобто збільшення ширини  $b$ , пов'язане з обтиском  $\Delta h$  приблизним співвідношенням  $\Delta b \approx 0,15 \cdot \Delta h$ .

Якщо позначити товщину та ширину розкату до проходу як, відповідно,  $h_0$  і  $b_0$ , товщину та ширину розкату після проходу як  $h_1$  і  $b_1$ , то вони пов'язані наступними рівняннями

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= h_0 - \Delta h \\ b_1 &= b_0 + \Delta b \end{aligned} \right\}$$

При призначенні кількості проходів та кантувань необхідно виконати наступні умови, що викликані розташуванням обладнання на обтискному стані: 1) кількість проходів повинна бути непарною; 2) кантування може бути тільки після парного проходу.

При призначенні обтиску необхідно знати величину максимально можливого обтиску за умовами захвату розкату валками:

$$\Delta h_{\max} = R \cdot \mu_m^2,$$

де  $R$  - радіус прокатного валка, м;

$\mu_m$  - коефіцієнт контактної тертя між металом, що прокатується, та валком; приймається рівним 0,5...0,6.

В залежності від ширини зливка, обтиск, що реально призначається, повинен бути в 1,5...2 рази меншим за максимально можливий обтиск за умовами захвату розкату валками.

Весь подальший розрахунок полягає у визначенні еквівалентної потужності привода валків та продуктивності стана при заданих розмірах і масі зливка, а також заготовки, і в залежності від обраного режиму обтискання. При занадто великих обтисках продуктивність стана може бути великою, але при цьому еквівалентна потужність привода може бути

більшою за номінальну потужність приводного двигуна або двигунів, що неприпустимо, і розрахунок потрібно буде повторити, призначивши інші, менші величини обтиску. При занадто малих обтисках еквівалентна потужність може бути занадто малою у порівнянні з номінальною потужністю. Це також не підходить. Вірно визначеними можуть вважатися такі величини обтиску, при яких еквівалентна потужність приводу складає 0,75...0,90 від номінальної. **Ця величина (співвідношення еквівалентної потужності до номінальної) і є критерієм вірності виконання завдання.**

Далі наведено опис етапів виконання завдання.

## **1. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДНОГО ДВИГУНА**

Номінальна кутова швидкість двигуна

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}, \quad (1.1)$$

де  $n_n$  - номінальна кількість обертів приводного двигуна, об/хв.

Номінальний крутний момент двигуна

$$M_n = \frac{N_n}{\omega_n}, \quad (1.2)$$

де  $N_n$  - номінальна потужність двигуна, Вт.

Максимальний крутний момент двигуна

$$M_{\max} = M_n \cdot \lambda, \quad (1.3)$$

тут  $\lambda$  - коефіцієнт припустимого короткочасного перевантаження двигуна; для розрахунку можливо прийняти  $\lambda=2,5$ .

**Цей момент є критерієм вірності розрахунку. В жодному з проходів момент двигуна не повинен перевищувати  $M_{\max}$ .**

Подальші розрахунки, наведені в пунктах 2 – 5 необхідно виконати для **кожного** з проходів.

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДВИГУНА

Зусилля прокатки в проході

$$P = p_{cp} \cdot b \cdot l, \quad (2.1)$$

де  $p_{cp}$  - середній тиск металу на валки; приймається в діапазоні 75...80 МПа;

$b$  - ширина прокату в проході; визначається розрахунком при призначенні обтисків, м;

$l$  - довжина дуги захвату, м.

$$l = \sqrt{R \cdot \Delta h}. \quad (2.2)$$

Момент прокатки для двох валків

$$M_{np} = 2 \cdot P \cdot l \cdot \varphi, \quad (2.3)$$

тут  $\varphi$  - коефіцієнт плеча прикладення рівнодіючої; приймається в діапазоні 0,45...0,50.

Момент сил тертя в підшипниках валків

$$M_{mp} = P \cdot d_n \cdot \mu_n, \quad (2.4)$$

де  $d_n$  - діаметр підшипників валків; для розрахунку приймається 0,75 м,

$\mu_n$  - коефіцієнт тертя в підшипнику валка; для текстолитового підшипника приймається 0,01.

Статичний момент під час прокатки металу

$$M_{ст} = \frac{M_{np} + M_{mp}}{\eta}, \quad (2.5)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) передачі від двигуна до валків; у випадку головної лінії типу 1 (таблиця 8.1) цей коефіцієнт дорівнює к.к.д. універсального шпинделя  $\eta_{ш}=0,98$ , у випадку головної лінії типу 2, цей коефіцієнт дорівнює  $\eta=\eta_{ш} \cdot \eta_k$ , тут  $\eta_k$  - к.к.д. шестеренної кліті, що дорівнює 0,95.

Статичний момент під час холостого ходу двигуна

$$M_{cm0} = M_{xx} = 0.02 \cdot M_n. \quad (2.6)$$

### 3. ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДВИГУНА

Робота прокатних двигунів в плинні одного проходу проходить наступним чином. Кутова швидкість двигуна при розгоні збільшується від нуля до швидкості захвата металу валками  $\omega_3$ , при здобутті цієї швидкості трапляється захват металу, і далі двигун розгоняється з металом в валках до номінальної кутової швидкості  $\omega_n$ , обертається деякий час на цій швидкості, потім гальмується з металом в валках до швидкості викиду металу з валків  $\omega_6$ , на цій швидкості проходить викид металу, і двигун без металу в валках гальмується до повної зупинки. Такий режим показан на рис. 3.1а. Однак, в декількох перших проходах довжина розката настільки мала, що двигун не встигає розігнатись до номінальної швидкості до початку гальмування (рис. 3.1б). В цьому випадку максимальна швидкість, до якої розгоняється двигун, нижче номінальної, і її необхідно визначити; також відсутня ділянка часу зі сталою швидкістю обертання. Для спрощення розрахунку вважаємо, що розгін двигуна в будь-якому випадку проходить з кутовим прискоренням  $\varepsilon_p$ , а гальмування двигуна – з кутовим прискоренням  $\varepsilon_2$ .

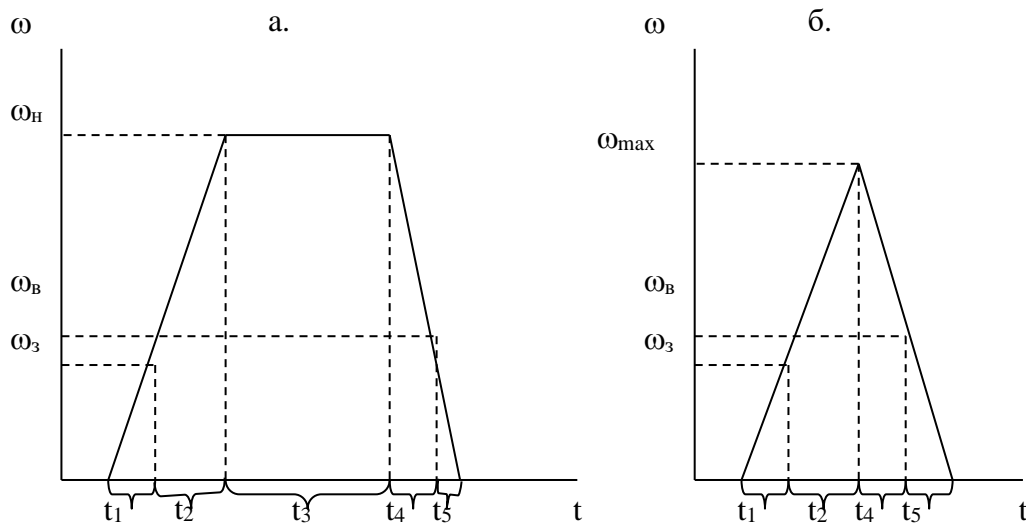


Рис. 3.1. Діаграми швидкості прокатного двигуна

Загальний момент інерції деталей головної лінії стану (при обертанні без зливка в валках)

$$J_0 = J_{\delta_6} + J_{\varepsilon} + J_{u} + J_{\kappa}, \quad (3.1)$$

тут  $J_{\partial 6}$  - момент інерції якоря прокатного двигуна (тип головної лінії 2) або сумарний момент інерції якорів прокатних двигунів (тип головної лінії 1), т·м<sup>2</sup>;

$J_6$  - сумарний момент інерції прокатних валків стану, т·м<sup>2</sup>;

$J_{ш}$  - сумарний момент інерції шпинделей, т·м<sup>2</sup>;

$J_k$  - сумарний момент інерції шестерен шестеренної кліті (для типу головної лінії 2), т·м<sup>2</sup>.

Загальний момент інерції деталей головної лінії стану (при обертанні зі зливком в валках)

$$J_1 = J_0 + m_c \cdot R^2, \quad (3.2)$$

де  $m_c$  - маса зливка, т.

Динамічний момент при розгоні двигуна без зливка в валках

$$M_{\partial 1} = J_0 \cdot \varepsilon_p. \quad (3.3)$$

Динамічний момент при розгоні двигуна зі зливком в валках

$$M_{\partial 2} = J_1 \cdot \varepsilon_p. \quad (3.4)$$

Динамічний момент при гальмуванні двигуна зі зливком в валках

$$M_{\partial 4} = J_1 \cdot \varepsilon_2. \quad (3.5)$$

Динамічний момент при гальмуванні двигуна без зливка в валках

$$M_{\partial 5} = J_0 \cdot \varepsilon_2. \quad (3.6)$$

#### 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДВИГУНА

Повний момент двигуна при розгоні визначається, як сума статичного та динамічного моментів, а при гальмуванні – як різниця статичного та динамічного моментів. У відповідності з цим визначимо повний момент двигуна для п'яти відрізків часу (рис. 3.1а).

Повний момент двигуна при розгоні двигуна без зливка в валках (відрізок часу  $t_1$ )

$$M_{\partial 61} = M_{xx} + M_{\partial 1} \quad (4.1)$$

Повний момент двигуна при розгоні двигуна зі зливком в валках (відрізок часу  $t_2$ )

$$M_{\partial 62} = M_{cm} + M_{\partial 2} \quad (4.2)$$

Повний момент двигуна при роботі двигуна на сталій швидкості (відрізок часу  $t_3$ )

$$M_{\partial 63} = M_{cm} \quad (4.3)$$

Повний момент двигуна при гальмуванні двигуна зі зливком в валках (відрізок часу  $t_4$ )

$$M_{\partial 64} = M_{cm} - M_{\partial 4} \quad (4.4)$$

Повний момент двигуна при гальмуванні двигуна без зливка в валках (відрізок часу  $t_5$ )

$$M_{\partial 65} = M_{xx} - M_{\partial 5} \quad (4.5)$$

## 5. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДРІЗКІВ ЧАСУ РІЗНОМАНІТНИХ ПЕРІОДІВ РОБОТИ ДВИГУНА В ПЛИНІ ОДНОГО ПРОХОДУ

Час розгону двигуна до швидкості захвату

$$t_1 = \frac{\omega_3}{\varepsilon_p} \quad (5.1)$$

Час розгону двигуна від швидкості захвату до номінальної швидкості

$$t_2 = \frac{\omega_n - \omega_3}{\varepsilon_p} \quad (5.2)$$

Час роботи двигуна на номінальній швидкості

$$t_3 = \frac{L}{V_c} - \left( \frac{\omega_n + \omega_3}{2 \cdot \omega_n} \cdot t_2 + \frac{\omega_n + \omega_6}{2 \cdot \omega_n} \cdot t_4 \right) \quad (5.3)$$

де  $L$  - довжина розкату в проході, м;

$V_c$  - стала лінійна швидкість прокатки при кутовій швидкості двигуна  $\omega_n$ , м/с

$$L = \frac{m_c}{\rho \cdot b \cdot h} \quad (5.4)$$

тут  $\rho$  - щільність сталі; при температурі прокатки  $\rho=7500$  кг/м<sup>3</sup>;

$b, h$  – відповідно ширина та висота розкату в проході, м.

$$V_c = \omega_n \cdot R. \quad (27)$$

Час гальмування двигуна від номінальної швидкості до швидкості викиду

$$t_4 = \frac{\omega_n - \omega_6}{\varepsilon_2}. \quad (5.5)$$

Час гальмування двигуна від швидкості викиду до повної зупинки

$$t_5 = \frac{\omega_6}{\varepsilon_2}. \quad (5.6)$$

У випадку, якщо при короткому розкаті двигун не досягає номінальної швидкості (Рис. 3.1б), час  $t_3$  за формулою (5.3) отримується негативним. Це значить, що для цих проходів в розрахунках необхідно приймати  $t_3=0$ , потрібно підрахувати максимальну кутову швидкість в проході  $\omega_{max}$  та знову підрахувати відрізки часу  $t_2$  і  $t_4$ ; відрізки часу  $t_1$  і  $t_5$  в будь-якому випадку підраховується за формулами (5.1) та (5.6) відповідно.

Максимальна швидкість в проході

$$\omega_{max} = \sqrt{\frac{\frac{2 \cdot L}{R} + \frac{\omega_3^2}{\varepsilon_p} + \frac{\omega_6^2}{\varepsilon_2}}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_2}}}. \quad (5.7)$$

Час розгону двигуна від швидкості захвату до максимальної швидкості в проході

$$t_2 = \frac{\omega_{max} - \omega_3}{\varepsilon_p}. \quad (5.8)$$

Час гальмування двигуна від максимальної швидкості в проході до швидкості викиду

$$t_4 = \frac{\omega_{max} - \omega_6}{\varepsilon_2}. \quad (5.9)$$

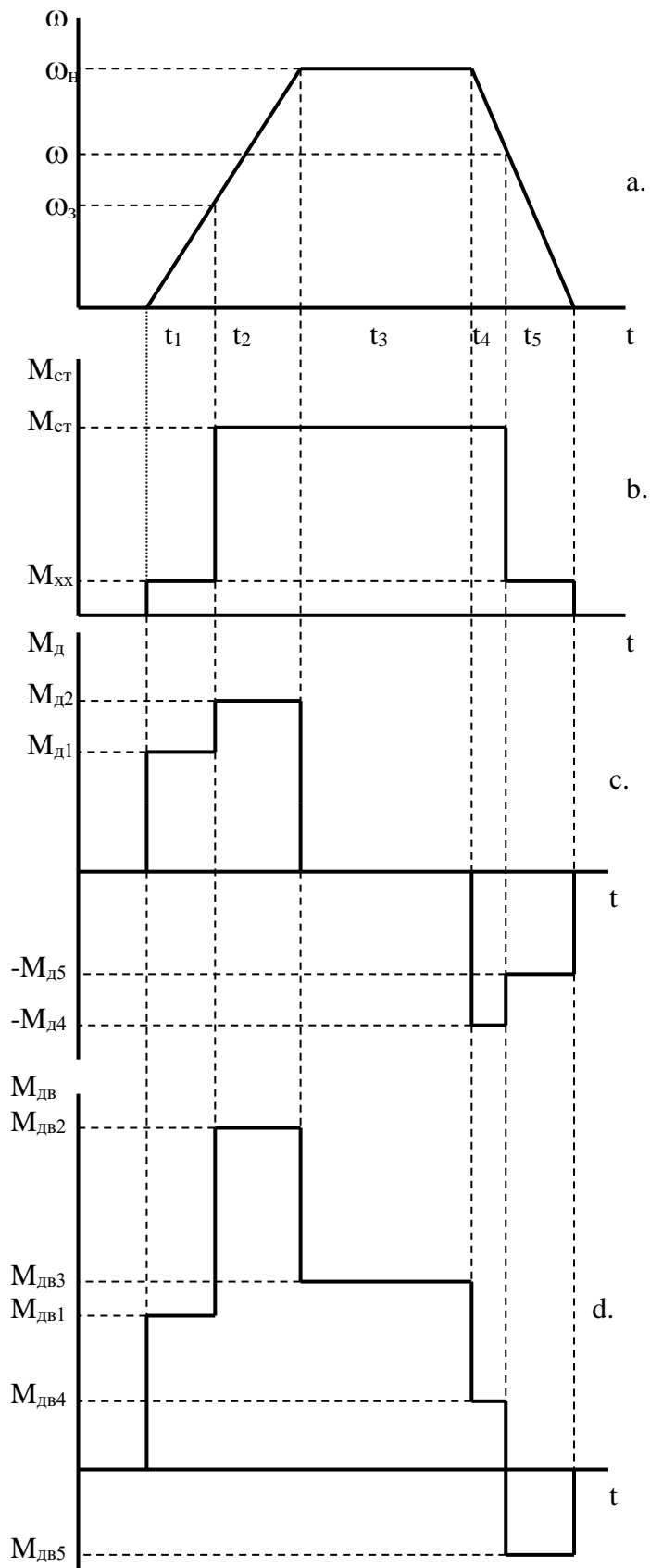


Рис. 5.1. Графіки навантаження для одного проходу (випадок діаграми швидкості двигуна у вигляді трапеції): а. Кутова швидкість двигуна; б. Статичний момент двигуна; в. Динамічний момент двигуна; г. Повний момент двигуна

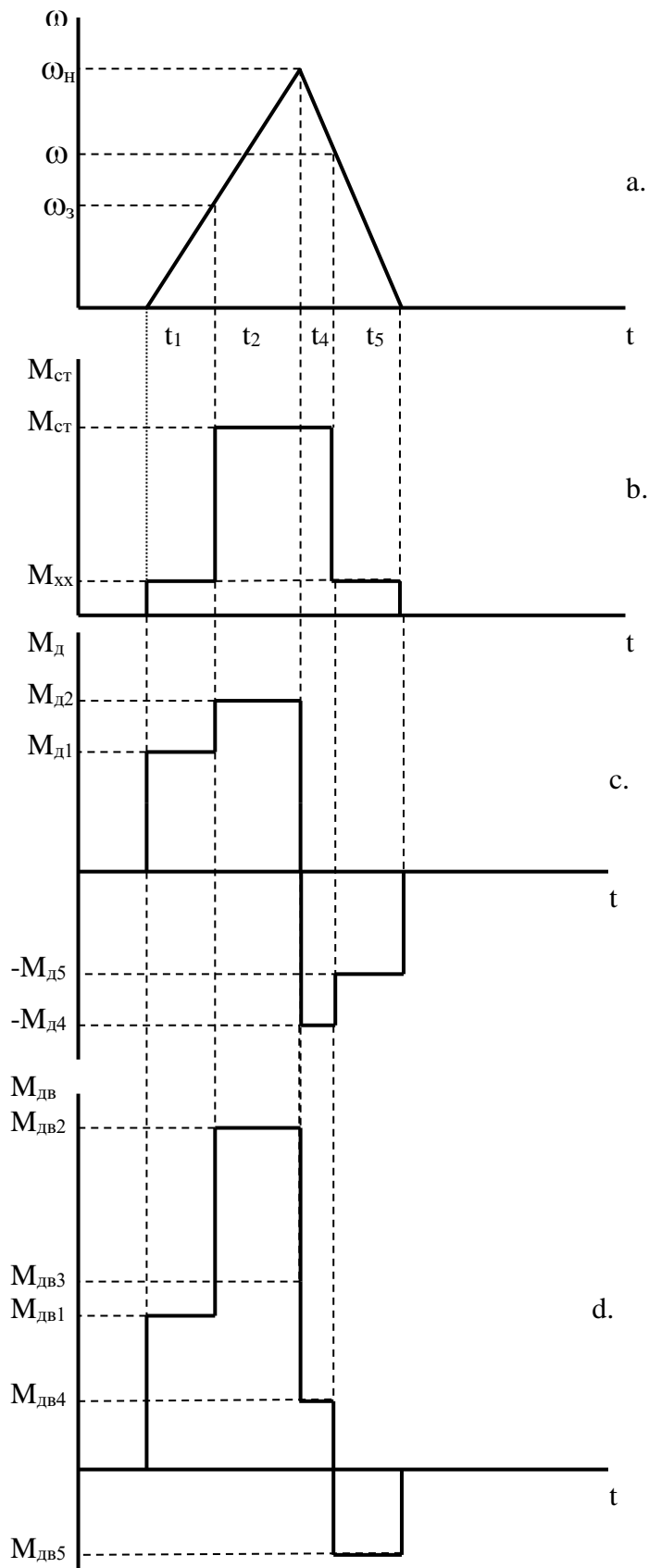


Рис. 5.2. Графіки навантаження для одного проходу (випадок трикутної діаграми швидкості двигуна): а. Кутова швидкість двигуна; б. Статичний момент двигуна; с. Динамічний момент двигуна; д. Повний момент двигуна

Всі виконані розрахунки для кожного проходу можливо було б наявно представити у вигляді декількох графіків на рис. 5.1, рис. 5.2. Як видно з графіка d, найбільший момент в проході - на ділянці часу  $t_2$ , коли одночасно ведеться прокатка та проходить розгон прокатного двигуна з металом в валках. Саме для цього відрізка часу обов'язково повинна виконуватись умова, щоб повний момент двигуна не перевищував максимально можливе значення моменту, тобто

$$M_{\text{дв2}} \leq M_{\text{max}}. \quad (5.10)$$

## 6. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО МОМЕНТУ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ПОТУЖНОСТІ ПРОКАТНОГО ДВИГУНА

Для кожного проходу потрібно визначити дві проміжні суми:

$$S_i = M_{\text{дв1}}^2 \cdot t_1 + M_{\text{дв2}}^2 \cdot t_2 + M_{\text{дв3}}^2 \cdot t_3 + M_{\text{дв4}}^2 \cdot t_4 + M_{\text{дв5}}^2 \cdot t_5. \quad (6.1)$$

та

$$T_i = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5. \quad (6.2)$$

тут індекс  $i$  - номер проходу; позначимо загальну кількість проходів -  $n$ .

Еквівалентний момент для всіх проходів

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n T_i + (n-1) \cdot t_n + t_{nc}}}, \quad (6.3)$$

де  $t_n$  - пауза між проходами, с;

$t_{nc}$  - пауза між зливками, с.

Еквівалентна потужність для всіх проходів

$$N_{\text{екв}} = M_{\text{екв}} \cdot \omega_n, \text{ Вт}. \quad (6.4)$$

**Обов'язково повинна виконуватись нерівність**

$$N_{\text{екв}} \leq N_n. \quad (6.5)$$

## 7. ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОКАТНОГО СТАНУ

Час прокатки одного зливка

$$T = \sum_{i=1}^n T_i + (n-1) \cdot t_n + t_{nc}, c. \quad (7.1)$$

Годинна продуктивність прокатного стану

$$П = m_c \cdot \frac{3600}{T}, m / \text{годину}. \quad (7.2)$$

## 8. ВИХІДНІ ДАНІ ДО РОЗРАХУНКУ

В таблиці 8.1 наведені деякі технічні характеристики головних ліній декількох обтискних прокатних станів. Ці характеристики необхідні для виконання даного завдання. В таблиці мається колонка «Тип головної лінії». Наведені числа 1 або 2 відповідають кінематичним схемам головних ліній на рис. 8.1.

В таблиці 8.2 наведені варіанти завдань. В колонці «Тип стану» вказані числа від 1 до 5. За інформацією, що відноситься до цієї колонки, необхідно звернутись до таблиці 8.1.

Далі в Додатку наведені скріншоти програми виконання розрахунку в електронній таблиці Excel, таблиць вихідних даних, проміжних даних та результатів розрахунку, а також електронні таблиці виконання завдання.

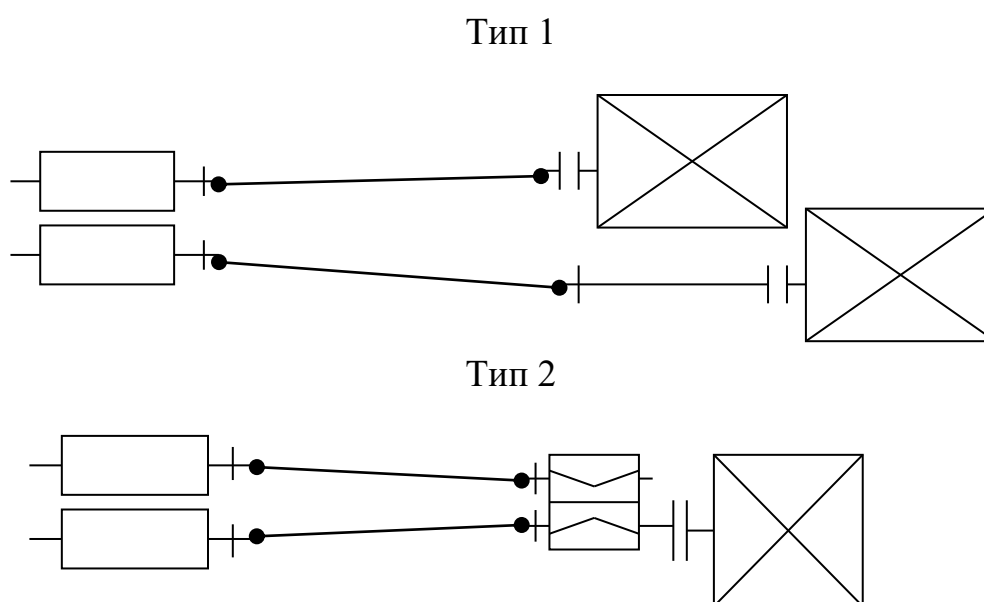


Рис. 8.1. Типи головних ліній обтискних станів

Таблиця 8.1

## Характеристика головних ліній

| № | Тип стану       | Тип<br>головної лінії | Діаметр<br>валків | Потужність<br>двигуна | Число<br>обертів<br>двигуна | Момент<br>інерції<br>якоря<br>двигуна | Момент<br>інерції<br>валків | Момент інерції<br>шпінделей | Момент інерції<br>шестерен |
|---|-----------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|   |                 |                       |                   |                       |                             |                                       |                             |                             |                            |
| 1 | Блюмінг<br>1500 | 1                     | 1500              | 2 x 7000              | 55                          | 2 x 185                               | 2 x 44                      | 2 x 75                      | -                          |
| 2 | Блюмінг<br>1300 | 1                     | 1300              | 2 x 6750              | 60                          | 2 x 165                               | 2 x 36                      | 2 x 65                      | -                          |
| 3 | Блюмінг<br>1150 | 2                     | 1150              | 1 x 7500              | 65                          | 1 x 210                               | 2 x 28                      | 2 x 45                      | 2 x 25                     |
| 4 | Слябінг<br>1250 | 1                     | 1250              | 2 x 7500              | 45                          | 2 x 160                               | 2 x 30                      | 2 x 50                      | -                          |
| 5 | Блюмінг<br>950  | 2                     | 950               | 1 x 6000              | 70                          | 1 x 130                               | 2 x 22                      | 2 x 30                      | 2 x 18                     |

Таблиця 8.2

## Варіанти завдань

| №  | Тип стана | Маса зливку | Перетин зливку | Перетин заготовки | Кутове<br>прискоренн<br>я |                 | Кутова<br>швидкість |                 | Пауза<br>між |          |
|----|-----------|-------------|----------------|-------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|--------------|----------|
|    |           |             |                |                   | Розгін                    | Гальмування     | Захват              | Викид           | Проходами    | Зливками |
|    |           | т           | мм x мм        | мм x мм           | с <sup>-2</sup>           | с <sup>-2</sup> | с <sup>-1</sup>     | с <sup>-1</sup> | с            | с        |
| 1  | 2         | 3           | 4              | 5                 | 6                         | 7               | 8                   | 9               | 10           | 11       |
| 1  | 4         | 22,0        | 1700x780       | 1400x180          | 3,1                       | 3,6             | 2,2                 | 1,8             | 1,4          | 6,0      |
| 2  | 2         | 8,0         | 620x620        | 280x280           | 2,6                       | 3,2             | 2,9                 | 2,1             | 1,2          | 4,3      |
| 3  | 1         | 10,5        | 720x640        | 320x280           | 3,0                       | 3,5             | 2,7                 | 2,5             | 1,5          | 4,6      |
| 4  | 3         | 6,3         | 560x520        | 210x210           | 3,4                       | 3,7             | 2,1                 | 1,8             | 1,7          | 4,4      |
| 5  | 5         | 3,7         | 420x380        | 160x150           | 3,1                       | 3,6             | 2,6                 | 2,2             | 1,3          | 4,8      |
| 6  | 4         | 28,0        | 1800x800       | 1500x200          | 4,0                       | 4,2             | 2,0                 | 2,0             | 1,9          | 5,5      |
| 7  | 1         | 19,6        | 1400x600       | 1200x140          | 3,0                       | 3,5             | 2,1                 | 2,0             | 1,4          | 5,4      |
| 8  | 3         | 7,6         | 600x550        | 220x210           | 3,6                       | 3,9             | 3,0                 | 2,8             | 1,7          | 5,6      |
| 9  | 5         | 4,6         | 440x380        | 180x170           | 3,7                       | 3,8             | 2,3                 | 2,0             | 1,8          | 5,8      |
| 10 | 1         | 11,8        | 750x700        | 250x250           | 3,0                       | 3,3             | 1,8                 | 1,4             | 2,0          | 5,7      |

| 1  | 2 | 3    | 4        | 5        | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  |
|----|---|------|----------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 11 | 5 | 5,8  | 450x400  | 200x170  | 3,2 | 3,6 | 1,9 | 2,0 | 1,6 | 3,4 |
| 12 | 2 | 13,0 | 780x740  | 320x280  | 3,1 | 3,4 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 4,8 |
| 13 | 3 | 7,9  | 590x560  | 230x220  | 2,8 | 3,5 | 2,5 | 2,3 | 1,3 | 5,4 |
| 14 | 5 | 6,0  | 450x420  | 220x200  | 3,3 | 3,9 | 2,8 | 2,0 | 1,7 | 5,6 |
| 15 | 4 | 21,0 | 1600x680 | 1450x100 | 2,8 | 3,6 | 2,1 | 2,0 | 1,4 | 4,1 |
| 16 | 4 | 26,5 | 1500x800 | 1300x150 | 2,2 | 2,6 | 2,6 | 2,3 | 1,4 | 5,8 |
| 17 | 3 | 10,0 | 750x680  | 280x200  | 2,5 | 2,8 | 2,9 | 2,5 | 1,7 | 3,3 |
| 18 | 2 | 10,7 | 720x600  | 300x280  | 2,9 | 3,5 | 2,0 | 1,8 | 1,3 | 5,1 |
| 19 | 5 | 7,0  | 500x480  | 220x180  | 2,4 | 3,2 | 2,3 | 2,0 | 1,5 | 4,0 |
| 20 | 4 | 18,6 | 1400x600 | 1100x130 | 2,9 | 3,4 | 2,7 | 2,3 | 1,8 | 4,5 |
| 21 | 1 | 22,0 | 1200x450 | 1000x100 | 2,0 | 2,8 | 2,6 | 2,2 | 1,2 | 5,0 |
| 22 | 5 | 6,4  | 510x450  | 200x200  | 3,0 | 3,5 | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 4,0 |
| 23 | 2 | 9,8  | 650x570  | 300x300  | 3,1 | 3,4 | 3,0 | 2,0 | 1,7 | 4,9 |
| 24 | 1 | 21,0 | 1180x500 | 950x150  | 2,8 | 3,3 | 3,0 | 2,6 | 1,4 | 4,7 |
| 25 | 3 | 8,4  | 680x540  | 240x220  | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,7 | 1,5 | 3,6 |
| 26 | 5 | 6,0  | 520x480  | 240x180  | 2,0 | 2,5 | 2,3 | 2,0 | 1,3 | 3,7 |
| 27 | 2 | 9,4  | 600x550  | 270x250  | 2,6 | 3,0 | 2,6 | 2,4 | 1,4 | 3,4 |
| 28 | 5 | 5,8  | 550x450  | 250x230  | 2,1 | 2,5 | 2,1 | 1,7 | 1,6 | 4,8 |
| 29 | 4 | 19,5 | 1400x750 | 1200x180 | 2,5 | 3,2 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 3,2 |
| 30 | 4 | 26,6 | 1550x800 | 1450x200 | 2,9 | 3,5 | 2,5 | 1,9 | 1,2 | 3,8 |
| 31 | 1 | 19,5 | 1050x520 | 600x180  | 3,1 | 3,4 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 4,4 |
| 32 | 2 | 8,7  | 700x450  | 240x220  | 3,2 | 3,5 | 2,3 | 2,3 | 1,6 | 4,1 |
| 33 | 3 | 7,5  | 630x580  | 220x200  | 2,8 | 3,1 | 2,4 | 2,0 | 2,0 | 5,0 |
| 34 | 2 | 10,8 | 750x630  | 300x270  | 2,4 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 1,2 | 5,6 |
| 35 | 1 | 9,7  | 700x640  | 240x210  | 2,6 | 3,0 | 2,7 | 2,6 | 1,9 | 6,0 |
| 36 | 3 | 6,4  | 560x500  | 200x200  | 2,1 | 2,7 | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 3,6 |
| 37 | 5 | 3,8  | 410x400  | 150x150  | 2,7 | 3,3 | 2,1 | 1,8 | 1,4 | 5,7 |
| 38 | 3 | 6,9  | 540x540  | 220x210  | 3,2 | 3,5 | 2,9 | 2,1 | 1,7 | 3,8 |
| 39 | 2 | 14,6 | 800x750  | 340x320  | 3,1 | 3,4 | 2,0 | 1,7 | 1,8 | 5,5 |
| 40 | 1 | 11,0 | 800x620  | 300x300  | 2,6 | 3,1 | 2,4 | 2,3 | 1,6 | 4,0 |
| 41 | 2 | 15,7 | 820x780  | 350x330  | 2,4 | 2,9 | 2,6 | 2,0 | 1,6 | 5,4 |
| 42 | 1 | 13,0 | 740x650  | 250x230  | 2,8 | 3,5 | 3,0 | 2,3 | 1,5 | 5,0 |
| 43 | 5 | 4,3  | 450x420  | 170x150  | 2,3 | 3,0 | 2,8 | 2,0 | 1,2 | 4,8 |
| 44 | 4 | 20,5 | 1350x800 | 1200x200 | 3,0 | 3,6 | 2,2 | 2,4 | 1,4 | 3,8 |
| 45 | 3 | 8,0  | 600x550  | 270x270  | 2,3 | 3,0 | 2,6 | 2,1 | 1,3 | 4,0 |
| 46 | 1 | 17,5 | 720x600  | 220x200  | 3,2 | 3,5 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 4,5 |
| 47 | 2 | 8,3  | 750x650  | 310x260  | 3,0 | 3,4 | 2,2 | 2,3 | 1,7 | 4,0 |
| 48 | 3 | 7,0  | 550x500  | 190x190  | 2,3 | 2,7 | 2,9 | 2,6 | 1,5 | 3,7 |
| 49 | 4 | 21,5 | 1300x750 | 1200x150 | 3,1 | 3,5 | 2,0 | 2,3 | 1,5 | 3,7 |
| 50 | 5 | 3,5  | 420x400  | 160x140  | 2,1 | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 1,7 | 4,8 |

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Іванченко Ф. К., Гребеник В. М., Ширяєв В.І. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів. К., Вища школа, 1995. – 456 с.
2. Обладнання прокатних цехів. Навчальний посібник для студентів ЗДІА/ Укл.М.Г. Прищип, - Запоріжжя: ЗДІА, 2016. – 116 с.
3. Principles and Applications of Metal Rolling. Publisher: Cambridge University Press. Print publication year: 2016. – 290 p.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139879293.003>

## ВИХІДНІ ТА ПРОМІЖНІ ДАНІ В ПРОГРАМІ РОЗРАХУНКУ В ЕЛЕКТРОННІЙ ТАБЛИЦІ EXCEL

**Вихідні дані**

|         |               |                  |                   |                    |                   |                   |                 |                     |                            |                              |                      |                        |                         |                              |                                 |                        |                      |                |
|---------|---------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|---------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------|----------------|
| Варіант | Ма са зли вка | Перет ин зли вка | Перет ин заго вки | Кутова прискорення | Кутова швидкість  | Пауза між         | Діам етр варк а | Потужні сть двигуна | Частота оберта ння двигуна | Момент інерції якоря двигуна | Момент інерції валкв | Момент інерції шпидлей | Момент інерції шестерен | Еквівалентний момент двигуна | Еквівалентна потужність двигуна | Завантаженість двигуна | Час програти зли вка | Продуктивність |
| 16      | Т             | мм               | мм                | мм                 | с <sup>(-2)</sup> | с <sup>(-2)</sup> | с               | мм                  | кВт                        | об/хв                        | т х м <sup>2</sup>   | т х м <sup>2</sup>     | т х м <sup>2</sup>      | кНм                          | кВт                             | %                      | с                    | т/год          |
| 17      | 23            | 9,8              | 50x57             | 400x30             | 3,1               | 3,4               | 2               | 1,7                 | 4,9                        | 1300                         | 13500                | 60                     | 330                     | 72                           | 130                             | 0                      |                      |                |

**Загальні проміжні дані**

|   |                            |                             |                       |                                      |                   |                          |                                      |   |
|---|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Максимальна обертальна швидкість кутова швидкість двигуна | Номинальний момент двигуна | Максимальний момент двигуна | Момент холостого ходу | Момент інерції деталей головної лнії | Динамічний момент | Стала швидкість програти | Час розгону до номінальної швидкості | Частота гальмування від номінальної швидкості |
| Розгін  | Гальмування                | Без мет                     | Без мет               | Без мет                              | Без мет           | Без мет                  | Без мет                              | Без мет                                       |
| мм  | с <sup>(-1)</sup>          | кНм                         | кНм                   | кНм                                  | т*м <sup>2</sup>  | т*м <sup>2</sup>         | кНм                                  | кНм   |
| 163   | 6,28                       | 2149                        | 43                    | 532                                  | 536               | 1649,2                   | 1662                                 | -1823   |

**Результати розрахунку**

|                      |                         |                |                      |                      |
|----------------------|-------------------------|----------------|----------------------|----------------------|
| Еквівалентний момент | Еквівалентна потужність | Завантаженість | Час програти зли вка | Продуктивність стану |
| кНм                  | кВт                     | %              | с                    | т/год                |
| 1611                 | 10122                   | 75,0           | 66,8                 | 528,0                |

## ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ В ЕЛЕКТРОННІЙ ТАБЛИЦІ EXCEL

**Вихідні дані**

|            |           |           |                           |                         |                       |                      |                  |                 |                                |                  |                   |                  |                       |                        |                         |                 |  |                   |                  |                  |      |
|------------|-----------|-----------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------|--|-------------------|------------------|------------------|------|
| Не проходу | Катування | Обрисення | Розміри передньої проходу | Розміри задньої проходу | Розміри після проходу | Довжина дули захвату | Зусилля програти | Момент програти | Момент сил тертя в підшипниках | Статичний момент | Розгін без метала | Розгін з металом | Гальмування з металом | Гальмування без метала | Контроль перевантаження | Довжина розгату | Максимальна кутова швидкість в проході | Розгін без метала | Розгін з металом | Проекта на сталі |      |
| мм         | мм        | мм        | мм                        | мм                      | мм                    | мм                   | кН               | кНм             | кНм                            | кНм              | кНм               | кНм              | кНм                   | кНм                    |                         | м               | с <sup>(-1)</sup>                      | с                 | с                | с                |      |
| 1          | Ні        | 80        | 650                       | 570                     | 570                   | 582                  | 228              | 9748            | 2001                           | 73               | 2116              | 1692             | 3778                  | 2116                   | 293                     | -1766           | Норма                                  | 3,939             | 5,125            | 0,97             | 0,69 |
| 2          | Ні        | 85        | 570                       | 582                     | 485                   | 595                  | 235              | 10260           | 2170                           | 77               | 2293              | 1692             | 3955                  | 2293                   | 470                     | -1766           | Норма                                  | 4,530             | 5,405            | 0,97             | 0,78 |
| 3          | Кант      | 80        | 695                       | 485                     | 515                   | 497                  | 228              | 8295            | 1702                           | 62               | 1801              | 1692             | 3463                  | 1801                   | -22                     | -1766           | Норма                                  | 5,108             | 5,666            | 0,97             | 0,86 |
| 4          | Ні        | 85        | 515                       | 497                     | 430                   | 510                  | 235              | 8762            | 1853                           | 66               | 1958              | 1692             | 3620                  | 1958                   | 136                     | -1766           | Норма                                  | 5,965             | 6,031            | 0,97             | 0,98 |
| 5          | Ні        | 80        | 430                       | 510                     | 350                   | 522                  | 228              | 8718            | 1789                           | 65               | 1892              | 1692             | 3554                  | 1892                   | 70                      | -1766           | Норма                                  | 7,161             | 6,283            | 0,97             | 1,06 |
| 6          | Ні        | 85        | 350                       | 522                     | 265                   | 534,5                | 235              | 9198            | 1946                           | 69               | 2056              | 1692             | 3718                  | 2056                   | 233                     | -1766           | Норма                                  | 9,234             | 6,283            | 0,97             | 1,06 |
| 7          | Кант      | 80        | 534,5                     | 265                     | 454,5                 | 277                  | 228              | 4528            | 929                            | 34               | 983               | 1692             | 2645                  | 983                    | -840                    | -1766           | Норма                                  | 10,388            | 6,283            | 0,97             | 1,06 |
| 8          | Ні        | 85        | 454,5                     | 277                     | 369,5                 | 290                  | 235              | 4879            | 1032                           | 37               | 1091              | 1692             | 2753                  | 1091                   | -732                    | -1766           | Норма                                  | 12,215            | 6,283            | 0,97             | 1,06 |
| 9          | Ні        | 69        | 369,5                     | 290                     | 300,5                 | 300                  | 212              | 4598            | 876                            | 34               | 930               | 1692             | 2592                  | 930                    | -893                    | -1766           | Норма                                  | 14,502            | 6,283            | 0,97             | 1,06 |

**Загальні проміжні дані**

|   |                            |                             |                       |                                      |                   |                          |                                      |   |
|---|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Максимальна обертальна швидкість кутова швидкість двигуна | Номинальний момент двигуна | Максимальний момент двигуна | Момент холостого ходу | Момент інерції деталей головної лнії | Динамічний момент | Стала швидкість програти | Час розгону до номінальної швидкості | Частота гальмування від номінальної швидкості |
| Розгін  | Гальмування                | Без мет                     | Без мет               | Без мет                              | Без мет           | Без мет                  | Без мет                              | Без мет                                       |
| мм  | с <sup>(-1)</sup>          | кНм                         | кНм                   | кНм                                  | т*м <sup>2</sup>  | т*м <sup>2</sup>         | кНм                                  | кНм   |
| 163   | 6,28                       | 2149                        | 43                    | 532                                  | 536               | 1649,2                   | 1662                                 | -1823   |

**Результати розрахунку**

|                      |                         |                |                      |                      |
|----------------------|-------------------------|----------------|----------------------|----------------------|
| Еквівалентний момент | Еквівалентна потужність | Завантаженість | Час програти зли вка | Продуктивність стану |
| кНм                  | кВт                     | %              | с                    | т/год                |
| 1611                 | 10122                   | 75,0           | 66,8                 | 528,0                |

# ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ В ЕЛЕКТРОННІЙ ТАБЛИЦІ EXCEL

| двигуна               |                        | Контроль переважання | Довжина розмоту    | Максимальна крива швидкість в проході | Періоди часу в межах проходу |                  |                              |                       |                        |            | Проміжка суми S1 | Проміжка суми T1 |
|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|------------|------------------|------------------|
| Гальмування з металом | Гальмування без металу |                      |                    |                                       | Ролінг без металу            | Ролінг з металом | Прокатка на сталій швидкості | Гальмування з металом | Гальмування без металу |            |                  |                  |
| кНм                   | кНм                    | м                    | с <sup>(N-1)</sup> | с                                     | с                            | с                | с                            | с                     | с                      |            |                  |                  |
| 293                   | -1766                  | Норма                | 3.939              | 5.125                                 | 0.97                         | 0.69             | 0                            | 0.92                  | 0.59                   | 14477154.3 | 3.16             |                  |
| 470                   | -1766                  | Норма                | 4.530              | 5.405                                 | 0.97                         | 0.78             | 0                            | 1.00                  | 0.59                   | 16965135   | 3.33             |                  |
| -22                   | -1766                  | Норма                | 5.108              | 5.666                                 | 0.97                         | 0.86             | 0                            | 1.08                  | 0.59                   | 14915225   | 3.49             |                  |
| 136                   | -1766                  | Норма                | 5.965              | 6.031                                 | 0.97                         | 0.98             | 0                            | 1.19                  | 0.59                   | 17440213.1 | 3.72             |                  |
| 70                    | -1766                  | Норма                | 7.161              | 6.283                                 | 0.97                         | 1.06             | 0.140517615                  | 1.26                  | 0.59                   | 18494384.9 | 4.02             |                  |
| 233                   | -1766                  | Норма                | 9.234              | 6.283                                 | 0.97                         | 1.06             | 0.648171225                  | 1.26                  | 0.59                   | 22039143.5 | 4.52             |                  |
| -840                  | -1766                  | Норма                | 10.388             | 6.283                                 | 0.97                         | 1.06             | 0.930844443                  | 1.26                  | 0.59                   | 13619141.3 | 4.81             |                  |
| -732                  | -1766                  | Норма                | 12.215             | 6.283                                 | 0.97                         | 1.06             | 1.378181317                  | 1.26                  | 0.59                   | 14804784.8 | 5.25             |                  |
| -893                  | -1766                  | Норма                | 14.502             | 6.283                                 | 0.97                         | 1.06             | 1.938011317                  | 1.26                  | 0.59                   | 14190726.3 | 5.81             |                  |
|                       |                        |                      |                    |                                       |                              |                  |                              |                       |                        | 146945908  | 38.12            |                  |

| Момент інерції шпинделя |                         | Результати розрахунку        |                                 |                        |                    |                      |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| т                       | Момент інерції шестерні | Еквівалентний момент двигуна | Еквівалентна потужність двигуна | Завантаженість двигуна | Час прокати зливка | Продуктивність стану |
| т х м <sup>2</sup>      | т х м <sup>2</sup>      | кНм                          | кВт                             | %                      | с                  | т/год                |
| 130                     | 0                       | 1611                         | 10122                           | 75.0                   | 66.82              | 528.0                |

Навчально-методичне видання

**Білодіденко** Сергій Валентинович,  
**Гануш** Василь Іванович,  
**Біліченко** Галина Миколаївна

**РОЗРАХУНКИ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ  
ТА ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ  
РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ  
ОБТИСКНИХ СТАНІВ**

Навчально-методичні рекомендації  
до розрахункового завдання

В авторській редакції  
Комп'ютерна верстка В. І. Гануш

Експертний висновок склав канд. техн. наук, доц. Дмитро КОНОНОВ

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№667 від 07.12.2023)

Формат 60x84 <sub>1/16</sub>. Ум. друк. арк. 1,16. Обл.-вид. арк. 1,17.  
Зам. №106

Видавець: Український державний університет науки і технологій.  
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263, м. Дніпро, 49010.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010