



Міністерство освіти і науки України  
Мукачівський державний університет  
Кафедра машинобудування, природничих дисциплін  
та інформаційних технологій



## **ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА ПРИСТРОЇ**

Методичні вказівки  
до виконання курсового проекту

для студентів напрямку підготовки  
**6.050502 – «Інженерна механіка»**

**Мукачево**

**МДУ 2017**

УДК 621.86

ББК 34.4+38.6-445я73

*Розглянуто та рекомендовано до друку науково-методичною радою Мукачівського державного університету*

*протокол № \_ від \_02.2017 р.*

*Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри машинобудування, природничих дисциплін та інформаційних технологій,*

*протокол № 9 від 31.01.2017 р.*

### **Укладачі**

**Жигуц Ю.Ю.** - д.т.н., професор кафедри машинобудування, природничих дисциплін та інформаційних технологій МДУ,

**Хом'як Б.Я.** - к.ф.-м.н., доцент кафедри машинобудування, природничих дисциплін та інформаційних технологій МДУ,

**Габовда О.В.** – асистент кафедри машинобудування, природничих дисциплін та інформаційних технологій МДУ.

### **Рецензент**

ПЗ2

**Підйомно-транспортні системи та пристрої:** методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів напряму підготовки 6.050502 – «Інженерна механіка» / укладачі Ю.Ю.Жигуц, Б.Я.Хом'як, О.В.Габовда - Мукачєво : МДУ, 2017. - 28 с. (1,2 др. арк.)

### **Анотація.**

Видання містить завдання та методичні вказівки і призначене для організації роботи студентів з розрахунку та проектування вузлів вантажопідйомних, транспортуючих, навантажувально-розвантажувальних машин і автотракторного транспорту згідно завдання курсового проекту з дисципліни «Підйомно-транспортні системи та пристрої»

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Передмова.....                             | 4  |
| 1. Об'єкт курсового проектування.....      | 5  |
| 2. Завдання до курсового проекту.....      | 6  |
| 2.1 <i>Задача 1</i> .....                  | 6  |
| 2.2 <i>Задача 2</i> .....                  | 8  |
| 2.3 <i>Задача 3</i> .....                  | 14 |
| 2.4 <i>Задача 4</i> .....                  | 16 |
| 2.5 <i>Задача 5</i> .....                  | 18 |
| 2.6 <i>Задача 6</i> .....                  | 21 |
| 3. Графік виконання курсового проекту..... | 23 |
| Рекомендована література.....              | 23 |

## **ПЕРЕДМОВА**

На сучасному виробництві інженер повинен володіти основами знань про вантажопідйомні, транспортуючі та транспортні машини, які використовуються у будівництві на монтажних, навантажувально-розвантажувальних і транспортних роботах.

Основна мета курсового проекту з дисципліни «Підйомно-транспортні системи та пристрої» – вивчення принципів розрахунку, проектування вузлів вантажопідйомних, транспортуючих, навантажувально-розвантажувальних машин і автотракторного транспорту.

Завдання: навчити студентів складати розрахункові схеми, визначати стійкість та міцність деталей, конструкцій, споруд, машин, а також конструктивні форми і розміри елементів вантажопідйомних та транспортуючих машин.

## 1. ОБ'ЄКТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Курсовий проект з дисципліни «Підйомно-транспортні системи та пристрої» є самостійною розробкою студента машини у цілому, яка складається із декількох взаємопов'язаних механізмів та металевої конструкції. Об'єктом розробки є крановий візок крану мостового електричного загального призначення, що використовується в більшості промислових цехів. Для розрахунку та проектування керівник проекту видає студенту № завдання на курсове проектування за темою «Спроекувати крановий візок крану мостового електричного загального призначення».

Вихідні дані та прийняті позначення:

$M$ , (т) – вантажопідйомність;

$L$ , (м) – проліт крана;

$H$ , (м) – висота підйому вантажу;

$V_{гр}$ , (м/с) – швидкість підйому вантажу;

$V_{т}$ , (м/с) – швидкість пересування кранового візка;

$Z$  – число гілок кранового поліпасти;

ПВ – відносна тривалість включення;

ГКМ – група класифікації механізму по ISO 4301/1;

$It$  – колія кранового візка.

Курсовий проект вміщує пояснювальну записку на аркушах формату А4, креслення гакової підвіски на форматі А1, креслення кранового візка на форматі А1, специфікацій до складальних креслень. Після перевірки курсового проекту та підписання керівником студент допускається до захисту проекту.

## 2. ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект складається з шести завдань, кожне з яких студент виконує за своїм варіантом (всього пропонується 25 варіантів). Кожне завдання супроводжується прикладом його вирішення. Варіант завдання курсового проекту визначає для студента викладач. Курсовий проект повинен містити всі необхідні схеми та графічні пояснення необхідні для розуміння повноти розв'язання завдань.

Завдання 1. Вибрати двигун механізму підйому вантажу мостового крана із відповідними параметрами.

Завдання 2. Визначити динамічні навантаження, що діють на механізм підйому одноківшового екскаватора із заданими параметрами при  $a_n=2$  під час стопоріння ковша.

Завдання 3. Визначити необхідне гальмове зусилля для механізму пересування пневмоколісної машини з відповідними параметрами.

Завдання 4. Визначити необхідний гальмівний момент на валу двигуна механізму підйому вантажу.

Завдання 5. Визначити динамічні зусилля, що діють на робоче обладнання бульдозера ( $\eta=0,85$ ) при збиранні ним штабеля щебеню.

Завдання 5. Визначити динамічне зусилля, що діє на механізм обертання баштового крана ( $\eta=0,474$ ) при пуску двигуна.

### Задача 1

Вибрати двигун механізму підйому вантажу мостового крана із параметрами (табл. 1):

|   |      |
|---|------|
| - вантажопідйомність крана $Q$ , т      | 7,5; |
| - швидкість підйому вантажу $V_e$ , м/с | 0,2; |
| - передатне число механізму $i$         | 60;  |
| - кратність поліспасти $a_n$            | 4;   |
| - ККД механізму підйому вантажу $\eta$  | 0,8; |
| - радіус барабана $R_e$ , мм            | 200; |
| - режимна група механізму               | 4М.  |

### Порядок розрахунку

1 Необхідна статична потужність двигуна

$$N_c = \frac{Q \cdot V_e}{1000 \cdot \eta} = \frac{73500 \cdot 0,2}{1000 \cdot 0,8} = 18,4 \text{ кВт}$$

По [35] прийнятий трифазний крановий двигун МТКН-42-8 з пара-

метрами: номінальна потужність  $N_H = 19,5 \text{ кВт}$ ; частота обертання  $n_d = 667 \text{ об/хв}$ ;  $K_H = \frac{M_{П.Д}}{M_H} = 2,8$ ; момент інерції ротора  $J_{рот} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Для з'єднання вала двигуна з редуктором прийнята пружна втулочно-пальцева муфта [35] із зовнішнім діаметром 400 мм і моментом інерції  $J_M = 2,55 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Таблиця 1

Вихідні дані до задачі 1

| Варіант | $Q, \text{ т}$ | $V_e, \text{ м/с}$ | $i$  | $a_n$ | $\eta$ | $R_0, \text{ мм}$ | Режимна група механізму |
|---------|----------------|--------------------|------|-------|--------|-------------------|-------------------------|
| 1       | 5              | 0,2                | 60   | 2     | 0,8    | 200               | 4М                      |
| 2       | 10             | 0,15               | 70   | 4     |        | 210               | 3М                      |
| 3       | 12,5           | 0,2                | 60   | 4     |        | 200               | 4М                      |
| 4       | 15             | 0,1                | 64   | 4     |        | 210               | 2М                      |
| 5       | 7,5            | 0,15               | 70   | 4     |        | 200               | 3М                      |
| 6       | 5              | 0,15               | 72   | 2     |        | 190               | 3М                      |
| 7       | 10             | 0,2                | 56   | 4     |        | 180               | 5М                      |
| 8       | 12,5           | 0,2                | 60   | 2     |        | 200               | 4М                      |
| 9       | 15             | 0,2                | 56   | 4     |        | 180               | 5М                      |
| 10      | 7,5            | 0,25               | 52   | 4     |        | 220               | 4М                      |
| 11      | 5              | 0,15               | 68   | 2     |        | 230               | 3М                      |
| 12      | 10             | 0,2                | 62   | 4     |        | 180               | 5М                      |
| 13      | 12,5           | 0,2                | 60   | 4     |        | 250               | 4М                      |
| 14      | 15             | 0,15               | 70   | 4     |        | 210               | 3М                      |
| 15      | 7,5            | 0,2                | 56   | 4     |        | 180               | 5М                      |
| 16      | 5              | 0,25               | 52   | 2     |        | 220               | 4М                      |
| 17      | 10             | 0,3                | 42,5 | 4     |        | 250               | 6М                      |
| 18      | 12,5           | 0,2                | 56   | 2     |        | 240               | 4М                      |
| 19      | 15             | 0,2                | 56   | 4     |        | 180               | 5М                      |
| 20      | 7,5            | 0,2                | 60   | 4     |        | 200               | 4М                      |
| 21      | 5              | 0,2                | 56   | 2     |        | 180               | 5М                      |
| 22      | 10             | 0,1                | 64   | 4     |        | 210               | 2М                      |
| 23      | 12,5           | 0,25               | 52   | 4     |        | 170               | 4М                      |
| 24      | 15             | 0,15               | 70   | 4     |        | 210               | 3М                      |
| 25      | 7,7            | 0,2                | 62   | 4     |        | 200               | 4М                      |

2. Статичний момент опору, приведений до вала двигуна

$$N_{см.д} = \frac{Q \cdot R_0}{i \cdot a_n \cdot \eta} = \frac{73500 \cdot 0,2}{60 \cdot 4 \cdot 0,8} = 77 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Сумарний момент інерції механізму й вантажу, приведений до вала двигуна:

$$J'_{ПР.Д} = \delta \cdot (J_{рот} + J_M) + \frac{m \cdot R_0^2}{i^2 \cdot a_n^2 \cdot \eta} = 1,2(1 + 1,25) + \frac{7500 \cdot 0,2^2}{60^2 \cdot 4^2 \cdot 0,8} = 4,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

4. Надлишковий момент інерції механізму й вантажу, приведений до вала двигуна при часу розгону механізму  $t_p = 1 \text{ с}$ :

$$M_{\text{ИЗБ.д}} = j_{\text{ПР.д}} \frac{0,105 n_{\text{д}}}{t_p} = 4,25 \frac{0,105 \cdot 667}{1} = 298 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5. Пусковий момент на валу двигуна

$$M_{\text{П.д}} = M_{\text{ИЗБ.д}} + M_{\text{СТ.д}} = 289 + 77 = 375 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

6. Для перевірки обраного двигуна на перевантаження по повному пусковому моменту визначається номінальний момент:

$$M_{\text{Н}} = \frac{9550 \cdot N_{\text{Н}}}{n_{\text{д}}} = \frac{9550 \cdot 19,5}{667} = 280 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При отриманому номінальному моменту коефіцієнт перевантаження

$$K_{\text{П}} = \frac{M_{\text{П.д}}}{M_{\text{Н}}} = \frac{375}{280} = 1,34, \text{ що припустимо для даного двигуна (табл. 2).}$$

Таблиця 2

Максимально припустимі значення  
коефіцієнта перевантаження  $K_{\text{П}}$  кранових двигунів

| <i>Тип кранового двигуна</i>      |                |                         |                |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| <i>3 короткозамкненим ротором</i> |                | <i>3 фазним ротором</i> |                |
| <i>Потужність, кВт</i>            | $K_{\text{П}}$ | <i>Потужність, кВт</i>  | $K_{\text{П}}$ |
| до 8                              | 2,5            | до 5                    | 2,3            |
| більш 8                           | 2,8            | 5...10...10             | 2,5            |
| -                                 | -              | більш 10                | 2,8            |

### Контрольні питання до задачі 1

1 Чим кранові двигуни відрізняються від двигунів загального призначення?

2 Як повинна встановлюватись муфта для з'єднання вала двигуна з редуктором в механізмі підйому вантажу?

3 Що таке коефіцієнт перевантаження кранового двигуна?

### 2.2 Задача 2

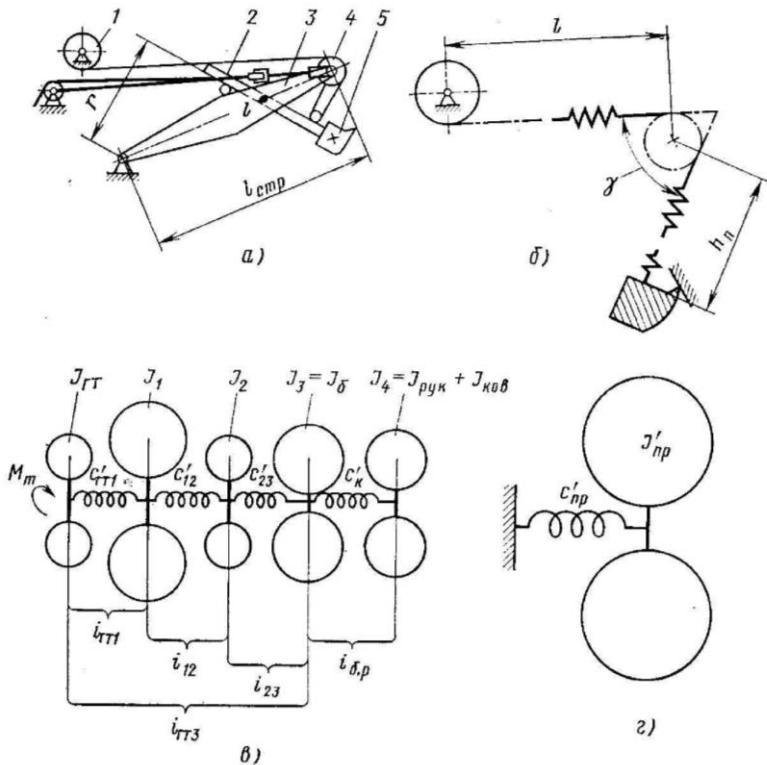
Визначити динамічні навантаження, що діють на механізм підйому одноківшевого екскаватора із заданими параметрами (табл. 3, 4) при  $a_n=2$  під час стопоріння ковша (рис. 1).

### Порядок розрахунку

Так як привод екскаватора гідромеханічний і між насосом і турбінним колесом гідротрансформатора відсутній жорсткий кінематичний зв'язок (колеса одне щодо іншого проковзують), при динамічному розрахунку частину механічної системи між валом двигуна і насосним колесом гідротрансформатора можна виключити з еквівалентної схеми.

Від загальної схеми, показаної на рисунку 1.в, приведенням динаміч-





а - загальна схема механізму; б - схема підйому ковша;  
 в - загальна еквівалентна схема; г - спрощена еквівалентна схема;  
 1 - механізм підйому ковша; 2 - рукоів'я; 3 - стріла; 4 - блок; 5 - ківш  
 Рисунок 1 - Схеми для розрахунку механізму підйому  
 одноковшевого екскаватора

них параметрів можна перейти до спрощеної еквівалентної схеми для випадку стопоріння механізмів (рис.1, г).

Для рішення задачі потрібно розрахувати два випадки:

- перший: фрикційна муфта барабана лебідки механізму підйому при стопорінні ковша не проковзує;
- другий: фрикційна муфта при стопорінні ковша проковзує.

### Порядок розрахунку для випадку, коли муфта барабана не проковзує.

1. Момент інерції ковша з вантажем і рукоів'я, приведені до привідного вала механізму:

$$(J_{ков})'_{пр.д} = J_{ков} \frac{1}{i_{б.р}^2 \cdot i^2 \cdot \eta_0}; (J_{рук})'_{пр.д} = J_{рук} \frac{1}{i_{б.р}^2 \cdot i^2 \cdot \eta_0}$$

де  $\eta_0$  - ККД від рукоів'я до привідного вала механізму ( $\eta_0 = 0,9$ );

$$i_{б,р} - \text{передатне число між рукоів'ям і барабаном } i_{б,р} = \frac{\omega_б}{\omega_{рук}},$$

де  $\omega_б, \omega_{рук}$  - кутові швидкості барабана й рукоів'я відповідно.

Таблиця 3

Вихідні дані для розрахунку

| Параметр  | Значення             |
|---|----------------------|
| Вага ковша з вантажем $Q$ , т   | 4                    |
| Момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$  |                      |
| - вихідної ланки гідротрансформатора $J_{ГТ}$   | 1                    |
| - ковша з вантажем щодо осі напірного вала $J_{ков}$  | 42000                |
| - рукояті ковша щодо осі $J_{рук}$  | 790                  |
| - барабана і фрикційної муфти лебідки щодо осі $J_б$  | 29,2                 |
| Крутний момент, переданий гідротрансформатором $M_{ГТ}$ , Н·м   | 1000                 |
| Моменти інерції елементів привода, розташованих між турбінним колесом гідротрансформатора і барабаном лебідки (рис. 1, б), $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ |                      |
| - $J_1$   | 4,5                  |
| - $J_2$   | 1,42                 |
| Кутова швидкість, рад/с:  |                      |
| - турбінного колеса $\omega_1$  | 59                   |
| - повороту рукояті при підйомі ковша $\omega_{рук}$   | 0,115                |
| Передатне число між:  |                      |
| - гідротрансформатором і барабаном $i_{ГТ}$   | 20,7                 |
| - гідротрансформатором і елементами привода з моментом інерції $J_1, i_{ГТ1}$   | 4,55                 |
| - елементами привода з моментами інерції $J_2$ та $J_1, i_{1,2}$  | 4,55                 |
| - елементами привода з моментами інерції $J_2$ та $J_3 = J_б, i_{2,3}$  | 1,0                  |
| Радіус барабана лебідки і блоку головки стріли ( $R_б = R_{бн}$ ), мм   | 265                  |
| Кратність $a_n$ поліспасти механізму підйому  | 2                    |
| Канат механізму підйому:  |                      |
| - площа поперечного перетину $\Omega_K, \text{м}^2$   | $1,97 \cdot 10^{-4}$ |
| - модуль пружності $E_K$ матеріалу дротів, $\text{кН}/\text{м}^2$   | $1,1 \cdot 10^{11}$  |
| - довжина $h_n$ каната на ділянці від головки стріли до барабана лебідки, включаючи довжину одного витка, намотаного на барабан, м                    | 8,5                  |
| Жорсткість (Н/м) елементів привода, розташованих між масами з моментами інерції (рис.1, в):   |                      |
| - $J_{ГТ}$ і $J_1, c'_{ГТ1}$  | $1,05 \cdot 10^5$    |
| - $J_1$ і $J_2, c'_{1,2}$   | $2,75 \cdot 10^6$    |
| - $J_3$ і $J_2, c'_{2,3}$   | $2,62 \cdot 10^6$    |

Для розглянутого випадку:

$$\omega_6 = \frac{\omega_7}{i_{7T}} = \frac{59}{20,7} = 2,85 \text{ рад/с}; \quad i_{6,p} = 2,85/0,115 = 24,8;$$

$$(J_{\text{ков}})'_{\text{пр.д}} = \frac{42000}{24,8^2 \cdot 20,7^2 \cdot 0,9} = 0,177 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$(J_{\text{рук}})'_{\text{пр.д}} = \frac{790}{24,8^2 \cdot 20,7^2 \cdot 0,9} = 0,0033 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

2. Моменти інерції елементів привода, розташованих між привідним валом механізму й барабаном, приведені до привідного вала:

$$J'_{1 \text{ пр.д}} = J_1 \frac{1}{i_{7T1}^2 \cdot \eta_1} = \frac{4,5}{4,55^2 \cdot 0,97} = 0,225 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J'_{2 \text{ пр.д}} = J_2 \frac{1}{i_{7T1}^2 \cdot i_{1,2}^2 \cdot \eta_2} = \frac{1,42}{4,55^2 \cdot 4,55 \cdot 0,95} = 0,0035 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Таблиця 4

Вихідні дані до задачі 2

| Вар | Q, т | Моменти інерції елементів механізму, кг·м <sup>2</sup> |                  |                  |                |                |                | Кутова швидкість, рад/с |                  | Передатні числа |                  |                  |                  |
|-----|------|--|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
|     |      | J <sub>Гм</sub>  | J <sub>ков</sub> | J <sub>рук</sub> | J <sub>б</sub> | J <sub>1</sub> | J <sub>2</sub> | ω <sub>1</sub>          | ω <sub>рук</sub> | i <sub>Гм</sub> | i <sub>Гм1</sub> | i <sub>1,2</sub> | i <sub>2,3</sub> |
| 1   | 4    | 1  | 41000            | 780              | 28             | 4,5            | 1,4            | 55                      | 0,11             | 20,1            | 4,54             | 4,52             | 1,1              |
| 2   | 4    | 1  | 42200            | 770              | 29             | 4,1            | 1,44           | 60                      | 0,1              | 20              | 4,5              | 4,48             | 0,9              |
| 3   | 4    | 1  | 42100            | 785              | 28,4           | 4,3            | 1,43           | 58                      | 0,112            | 20,3            | 4,51             | 4,54             | 1,0              |
| 4   | 4    | 1  | 42090            | 775              | 28,7           | 4,2            | 1,42           | 56                      | 0,11             | 20,4            | 4,45             | 4,5              | 1,2              |
| 5   | 4    | 1  | 42300            | 800              | 29,1           | 4,4            | 1,45           | 57                      | 0,114            | 20,5            | 4,52             | 4,51             | 0,8              |
| 6   | 4    | 1  | 43000            | 805              | 28,3           | 4,5            | 1,4            | 54                      | 0,113            | 20,6            | 4,48             | 4,45             | 1,4              |
| 7   | 4    | 1  | 42600            | 795              | 28,1           | 4,1            | 1,44           | 55                      | 0,11             | 20,1            | 4,54             | 4,52             | 1,3              |
| 8   | 4    | 1  | 42650            | 750              | 27             | 4,3            | 1,43           | 59                      | 0,1              | 20              | 4,5              | 4,48             | 0,7              |
| 9   | 4    | 1  | 42700            | 760              | 28,5           | 4,2            | 1,42           | 61                      | 0,112            | 20,3            | 4,51             | 4,54             | 1,5              |
| 10  | 4    | 1  | 42190            | 765              | 27,8           | 4,4            | 1,45           | 65                      | 0,11             | 20,4            | 4,45             | 4,5              | 1,0              |
| 11  | 4    | 1  | 41900            | 755              | 29,2           | 4,5            | 1,4            | 56                      | 0,114            | 20,5            | 4,52             | 4,51             | 1,1              |
| 12  | 4    | 1  | 42050            | 810              | 29             | 4,1            | 1,44           | 58                      | 0,113            | 20,6            | 4,48             | 4,45             | 0,9              |
| 13  | 4    | 1  | 40000            | 772              | 28             | 4,3            | 1,43           | 52                      | 0,11             | 20,1            | 4,54             | 4,52             | 1,0              |
| 14  | 4    | 1  | 40100            | 784              | 29,4           | 4,2            | 1,42           | 60                      | 0,1              | 20              | 4,5              | 4,48             | 1,2              |
| 15  | 4    | 1  | 44000            | 786              | 28,5           | 4,4            | 1,45           | 58                      | 0,112            | 20,3            | 4,51             | 4,54             | 0,8              |
| 16  | 4    | 1  | 42400            | 778              | 27,6           | 4,5            | 1,4            | 55                      | 0,11             | 20,4            | 4,45             | 4,54             | 1,4              |
| 17  | 4    | 1  | 42800            | 800              | 27,9           | 4,1            | 1,44           | 50                      | 0,114            | 20,5            | 4,52             | 4,5              | 1,3              |
| 18  | 4    | 1  | 41700            | 820              | 28,7           | 4,3            | 1,43           | 53                      | 0,113            | 20,6            | 4,48             | 4,51             | 0,7              |
| 19  | 4    | 1  | 41300            | 740              | 29,1           | 4,2            | 1,42           | 64                      | 0,11             | 20,1            | 4,54             | 4,45             | 1,5              |
| 20  | 4    | 1  | 42400            | 770              | 27,9           | 4,4            | 1,45           | 52                      | 0,1              | 20              | 4,5              | 4,52             | 1,0              |
| 21  | 4    | 1  | 42600            | 755              | 28,7           | 4,5            | 1,4            | 59                      | 0,112            | 20,3            | 4,51             | 4,48             | 1,1              |
| 22  | 4    | 1  | 45000            | 810              | 28,8           | 4,1            | 1,44           | 51                      | 0,11             | 20,4            | 4,45             | 4,54             | 0,8              |
| 23  | 4    | 1  | 44500            | 796              | 29,1           | 4,3            | 1,43           | 55                      | 0,114            | 20,5            | 4,52             | 4,51             | 0,9              |
| 24  | 4    | 1  | 42500            | 788              | 29             | 4,2            | 1,42           | 58                      | 0,113            | 20,6            | 4,48             | 4,45             | 1,3              |
| 25  | 4    | 1  | 42050            | 790              | 29,2           | 4,5            | 1,42           | 59                      | 0,115            | 20,7            | 4,5              | 4,55             | 1,0              |

Продовження Табл. 4

| Вар | $M_{Гм},$<br>Н м | $R_б,$<br>$R_{бл},$<br>мм | $\Omega_K, м^2$      | $E_K, кН/м^2$        | $h, м$ | Жорсткість елементів<br>привода, Н/м |                   |                   |
|-----|------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|--------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
|     |                  |                           |                      |                      |        | $C'_{ГТ1}$                           | $C'_{1,2}$        | $C'_{2,3}$        |
| 1   | 1010             | 260                       | $1,96 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{11}$  | 8,5    | $1,06 \cdot 10^5$                    | $2,75 \cdot 10^6$ | $2,6 \cdot 10^6$  |
| 2   | 990              | 255                       | $1,95 \cdot 10^{-4}$ | $1,15 \cdot 10^{11}$ | 8,4    | $1,03 \cdot 10^5$                    | $2,76 \cdot 10^6$ | $2,5 \cdot 10^6$  |
| 3   | 1030             | 250                       | $1,94 \cdot 10^{-4}$ | $1,09 \cdot 10^{11}$ | 8,6    | $1,04 \cdot 10^5$                    | $2,72 \cdot 10^6$ | $2,52 \cdot 10^6$ |
| 4   | 1040             | 264                       | $1,97 \cdot 10^{-4}$ | $1,1 \cdot 10^{11}$  | 8,2    | $1,05 \cdot 10^5$                    | $2,74 \cdot 10^6$ | $2,55 \cdot 10^6$ |
| 5   | 1020             | 260                       | $1,96 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{11}$  | 8      | $1,06 \cdot 10^5$                    | $2,75 \cdot 10^6$ | $2,65 \cdot 10^6$ |
| 6   | 1015             | 270                       | $1,96 \cdot 10^{-4}$ | $1,15 \cdot 10^{11}$ | 8,7    | $1,07 \cdot 10^5$                    | $2,73 \cdot 10^6$ | $2,7 \cdot 10^6$  |
| 7   | 1000             | 252                       | $1,95 \cdot 10^{-4}$ | $1,09 \cdot 10^{11}$ | 8,3    | $1,06 \cdot 10^5$                    | $2,74 \cdot 10^6$ | $2,4 \cdot 10^6$  |
| 8   | 1010             | 266                       | $1,94 \cdot 10^{-4}$ | $1,1 \cdot 10^{11}$  | 8,5    | $1,03 \cdot 10^5$                    | $2,75 \cdot 10^6$ | $2,45 \cdot 10^6$ |
| 9   | 990              | 258                       | $1,97 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{11}$  | 8,4    | $1,04 \cdot 10^5$                    | $2,76 \cdot 10^6$ | $2,42 \cdot 10^6$ |
| 10  | 1030             | 280                       | $1,96 \cdot 10^{-4}$ | $1,15 \cdot 10^{11}$ | 8,6    | $1,05 \cdot 10^5$                    | $2,72 \cdot 10^6$ | $2,6 \cdot 10^6$  |
| 11  | 1040             | 245                       | $1,96 \cdot 10^{-4}$ | $1,09 \cdot 10^{11}$ | 8,2    | $1,06 \cdot 10^5$                    | $2,74 \cdot 10^6$ | $2,32 \cdot 10^6$ |
| 12  | 1020             | 262                       | $1,95 \cdot 10^{-4}$ | $1,1 \cdot 10^{11}$  | 8      | $1,07 \cdot 10^5$                    | $2,75 \cdot 10^6$ | $2,8 \cdot 10^6$  |
| 13  | 1015             | 252                       | $1,94 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{11}$  | 8,7    | $1,06 \cdot 10^5$                    | $2,73 \cdot 10^6$ | $2,75 \cdot 10^6$ |
| 14  | 1000             | 267                       | $1,97 \cdot 10^{-4}$ | $1,15 \cdot 10^{11}$ | 8,3    | $1,03 \cdot 10^5$                    | $2,74 \cdot 10^6$ | $2,56 \cdot 10^6$ |
| 15  | 1010             | 265                       | $1,96 \cdot 10^{-4}$ | $1,09 \cdot 10^{11}$ | 8,5    | $1,04 \cdot 10^5$                    | $2,75 \cdot 10^6$ | $2,64 \cdot 10^6$ |
| 16  | 990              | 260                       | $1,96 \cdot 10^{-4}$ | $1,1 \cdot 10^{11}$  | 8,4    | $1,05 \cdot 10^5$                    | $2,76 \cdot 10^6$ | $2,68 \cdot 10^6$ |
| 17  | 1030             | 268                       | $1,95 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{11}$  | 8,6    | $1,06 \cdot 10^5$                    | $2,72 \cdot 10^6$ | $2,58 \cdot 10^6$ |
| 18  | 1040             | 272                       | $1,94 \cdot 10^{-4}$ | $1,15 \cdot 10^{11}$ | 8,2    | $1,07 \cdot 10^5$                    | $2,74 \cdot 10^6$ | $2,61 \cdot 10^6$ |
| 19  | 1020             | 266                       | $1,97 \cdot 10^{-4}$ | $1,09 \cdot 10^{11}$ | 8      | $1,06 \cdot 10^5$                    | $2,75 \cdot 10^6$ | $2,63 \cdot 10^6$ |
| 20  | 1015             | 259                       | $1,96 \cdot 10^{-4}$ | $1,1 \cdot 10^{11}$  | 8,7    | $1,03 \cdot 10^5$                    | $2,73 \cdot 10^6$ | $2,48 \cdot 10^6$ |
| 21  | 1000             | 267                       | $1,96 \cdot 10^{-4}$ | $1,2 \cdot 10^{11}$  | 8,3    | $1,04 \cdot 10^5$                    | $2,74 \cdot 10^6$ | $2,46 \cdot 10^6$ |
| 22  | 1030             | 260                       | $1,95 \cdot 10^{-4}$ | $1,15 \cdot 10^{11}$ | 8,6    | $1,05 \cdot 10^5$                    | $2,73 \cdot 10^6$ | $2,59 \cdot 10^6$ |
| 23  | 1040             | 248                       | $1,94 \cdot 10^{-4}$ | $1,09 \cdot 10^{11}$ | 8,2    | $1,06 \cdot 10^5$                    | $2,74 \cdot 10^6$ | $2,69 \cdot 10^6$ |
| 24  | 1020             | 264                       | $1,97 \cdot 10^{-4}$ | $1,1 \cdot 10^{11}$  | 8      | $1,07 \cdot 10^5$                    | $2,72 \cdot 10^6$ | $2,67 \cdot 10^6$ |
| 25  | 1000             | 265                       | $1,9 \cdot 10^{-4}$  | $1,2 \cdot 10^{11}$  | 8,5    | $1,05 \cdot 10^5$                    | $2,75 \cdot 10^6$ | $2,62 \cdot 10^6$ |

3. Сумарний момент інерції механізму, приведений до приводного вала:

$$J'_{ПР.Д} = J_{ГТ} + J_б \frac{1}{i^2 \cdot \eta_T} + (J_{ков})'_{ПР.Д} + (J_{рук})'_{ПР.Д} + J'_{ПР.Д} + J'_{2ПР.Д} =$$

$$= 1 + 29,2 \frac{1}{20,7^2 \cdot 0,91} + 0,177 + 0,0033 + 0,225 + 0,0035 = 1,484 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

4. Для розрахунку жорсткості каната лебідки, приведеної до приводного вала, необхідно визначити жорсткість каната:

У місті підвісу вантажу

$$C_{II} = \frac{E_K \cdot \Omega_K \cdot a_{II}}{k_{II}} = \frac{1,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,97 \cdot 10^{-4}}{4,7} = 9,2 \cdot 10^6 \text{ Н / м}.$$

Приведена до обода блоку головки стріли жорсткість гілки каната поліспасти, що набігає на блок

$$C_{IK} = \frac{C_{II}}{a_{II}^2 \cdot \eta_{II}} = \frac{9,2}{2^2 \cdot 0,98} = 4,7 \cdot 10^6 \text{ Н / м.}$$

На ділянці від головки стріли до барабана

$$C_{2K} = \frac{E_K \cdot \Omega_K}{l} = \frac{1,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,97 \cdot 10^{-4}}{8,5} = 2,55 \cdot 10^6 \text{ Н / м.}$$

Загальна (приймаємо  $\gamma = 60^\circ$ , рис.1, б)

$$C_K = C_{2K} + C_{IK} \cos^2 \gamma = 2,55 + 4,7 \cdot 0,25 = 3,73 \cdot 10^6 \text{ Н / м.}$$

Кутова, приведена до осі барабана

$$C'_{K.B} = C_K \cdot R_6^2 = 3,73 \cdot 10^6 \cdot 0,265^2 = 2,62 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад.}$$

Кутова, приведена до приводного вала

$$C'_{K.Д} = \frac{C'_{K.B}}{i_{ГТ1}^2 \cdot \eta_T} = \frac{2,62 \cdot 10^5}{20,7^2 \cdot 0,91} = 6,7 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад.}$$

5. Жорсткість елементів привода, розташованих між привідним валом і барабаном, приведена до привідного вала:

$$C'_{ГТ1Д} = \frac{C'_{Г1}}{i_{ГТ1}^2 \cdot \eta_1} = \frac{105 \cdot 10^3}{4,55^2 \cdot 0,97} = 5,23 \cdot 10^3 \text{ Н / м;}$$

$$C'_{12Д} = \frac{C'_{12}}{i_{ГТ1}^2 \cdot i_{12}^2 \cdot \eta_2} = \frac{2,75 \cdot 10^6}{4,55^2 \cdot 4,55^2 \cdot 0,95} = 6,86 \cdot 10^3 \text{ Н / м;}$$

$$C'_{23Д} = \frac{C'_{23}}{i_{ГТ1}^2 \cdot \eta_T} = \frac{2,62 \cdot 10^6}{20,7^2 \cdot 0,91} = 6,72 \cdot 10^3 \text{ Н / м.}$$

6. Сумарна жорсткість механізму, приведена до привідного вала:

$$C'_{ПР.Д} = \frac{1}{\frac{1}{C'_{K.Д}} + \frac{1}{C'_{ГТ1Д}} + \frac{1}{C'_{12Д}} + \frac{1}{C'_{23Д}}} = \frac{C'_{K.Д}}{1 + \frac{C'_{K.Д}}{C'_{ГТ1Д}} + \frac{C'_{K.Д}}{C'_{12Д}} + \frac{C'_{K.Д}}{C'_{23Д}}}$$

$$= \frac{6,7 \cdot 10^2}{1 + \frac{0,67}{5,23} + \frac{0,67}{6,86} + \frac{0,67}{6,72}} = 5,07 \cdot 10^2 \text{ Н / м.}$$

7. Динамічне навантаження на привідному валу механізму

$$M_{Г.маx} = \omega \sqrt{C'_{ПРД} J'_{ПРД}} + M_{ГТ} = 59 \sqrt{5,07 \cdot 10^2 \cdot 1,484} + 1000 = 2620 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Відповідному даному виду навантаження коефіцієнт динамічності

$$K_D = M_{ГТ} / M_{Г.маx} = 2620 / 1000 = 2,62.$$

### Порядок розрахунку для випадку, коли муфта барабана не проковзує.

У цьому випадку динамічні зусилля діють лише на ті елементи привода, які розташовані між ківшем і барабаном. Момент, що підведений до цих елементів від двигуна, відповідає моменту  $M_\phi$  запобіжної муфти.

1. Розрахунковий момент, переданий фрикційною муфтою при коефі-

цієнті запасу зчеплення  $\beta_\phi = 1,25$ :

$$M_\phi = M_{IT} i_{IT} \eta_T \beta_\phi = 1,25 \cdot 1000 \cdot 20,7 \cdot 0,91 = 23500 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Сумарний момент інерції елементів механізму, розташованих до фрикційної муфти (з боку ковша), приведений до вісі барабана.

Момент інерції ковша з вантажем, приведений до вісі барабана:

$$(J_{\text{ков}})'_{\text{ПР.Д}} = J_{\text{ков}} \frac{1}{i_{\phi, \text{п}}^2 \cdot \eta_{\phi, \text{п}}} = \frac{42000}{24,8^2 \cdot 0,98} = 69,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції рукоів`я, приведений до осі барабана:

$$(J_{\text{рук}})'_{\text{ПР.Д}} = J_{\text{рук}} \frac{1}{i_{\phi, \text{п}}^2 \cdot \eta_{\phi, \text{п}}} = \frac{790}{24,8^2 \cdot 0,98} = 1,32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Сумарний момент інерції приведений до вісі барабана:

$$J'_{\text{ПР.Б}} = J_\phi + (J_{\text{ков}})'_{\text{ПР.Б}} + (J_{\text{рук}})'_{\text{ПР.Б}} = 1,32 + 29,2 + 69,7 = 100,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

3. Сумарна жорсткість елементів механізму, розташованих до фрикційної муфти барабана (з боку ковша).

Приведена до вісі барабана (значення  $C'_{\text{К.Б}}$  було визначено вище):

$$C'_{\text{ПР.Б}} = C'_{\text{К.Б}} = 262 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

4. Момент від дії на барабан динамічного зусилля

$$M_{\text{F.мах}} = \omega_I \sqrt{C'_{\text{ПР.Б}} J'_{\text{ПР.Б}}} + M_\phi = \\ = 2,85 \sqrt{2,62 \cdot 10^5 \cdot 100,2} + 23500 = 38100 \text{ Н} / \text{м}.$$

Коефіцієнт динамічності

$$K_{\text{Д}} = M_{\text{F.мах}} / M_\phi = 38100 / 23500 = 1,62.$$

При порівнянні результатів розрахунку можна зробити висновок, що установка муфти граничного моменту дозволила значно знизити динамічні зусилля, що діють на елементи привода механізму підйому ковша при його стопорінні.

### Контрольні питання до задачі 2

1 Який вигляд має динамічна схема механізму підйому ковша одноківшевого екскаватора?

2 За якою формулою визначається сумарна жорсткість механізму підйому ковша, приведена до привідного вала?

### 2.3 Задача 3

Визначити необхідне гальмове зусилля для механізму пересування пневмоколісної машини (табл. 5) з параметрами:

- |   |       |
|---|-------|
| - маса машини $m$ , т                                   | 10;   |
| - передатне число трансмісії $i$                        | 8,6;  |
| - частота обертання вала двигуна $n_{\text{Д}}$ , об/хв | 1800; |
| - радіус кочення коліс $r_{\text{К}}$ , м               | 0,53; |

- приведений до вала двигуна момент інерції привода механізму пересування  $J_D$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$  3,5;
- момент інерції ведучих коліс  $J_K$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$  25;
- ККД трансмісії  $\eta$  0,88;
- максимальний шлях гальмування  $S_{T_{max}}$ , м 10.

### Порядок розрахунку

1. Швидкість машини перед гальмуванням

$$V = \frac{0,105 n_D r_K}{i} = \frac{0,105 \cdot 1800 \cdot 0,53}{8,6} = 11,7 \text{ м/с.}$$

2. Необхідний час гальмування

$$t_T = \frac{2S_{T_{max}}}{V} = \frac{2 \cdot 10}{11,7} = 1,7 \text{ с.}$$

Таблиця 5

### Вихідні дані до задачі 3

| Вар. | $m, \text{ м}$ | $i$ | $n_D, \text{ об/хв}$ | $r_K, \text{ м}$ | $J_D, \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ | $J_K, \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ | $\eta$ | $S_{T_{max}}, \text{ м}$ |
|------|----------------|-----|----------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------|--------------------------|
| 1    | 10             | 8,6 | 1800                 | 0,52             | 3,2                              | 24                               | 0,88   | 10                       |
| 2    | 9,8            | 8,5 | 1760                 | 0,54             | 3,3                              | 27                               |        |                          |
| 3    | 10,2           | 8,7 | 1840                 | 0,53             | 3,4                              | 22                               |        |                          |
| 4    | 9,6            | 8,4 | 1720                 | 0,55             | 3,7                              | 26                               |        |                          |
| 5    | 10             | 8,8 | 1740                 | 0,52             | 3,2                              | 25                               |        |                          |
| 6    | 9,54           | 8,7 | 1800                 | 0,54             | 3,3                              | 24                               |        |                          |
| 7    | 10,1           | 8,4 | 1760                 | 0,53             | 3,4                              | 27                               |        |                          |
| 8    | 10             | 8,6 | 1840                 | 0,55             | 3,5                              | 22                               |        |                          |
| 9    | 9,8            | 8,5 | 1720                 | 0,52             | 3,2                              | 26                               |        |                          |
| 10   | 10,2           | 8,7 | 1740                 | 0,54             | 3,3                              | 25                               |        |                          |
| 11   | 9,6            | 8,4 | 1800                 | 0,53             | 3,4                              | 24                               |        |                          |
| 12   | 10             | 8,8 | 1760                 | 0,55             | 3,7                              | 27                               |        |                          |
| 13   | 9,54           | 8,7 | 1840                 | 0,52             | 3,2                              | 22                               |        |                          |
| 14   | 10,1           | 8,4 | 1720                 | 0,54             | 3,3                              | 26                               |        |                          |
| 15   | 10             | 8,6 | 1740                 | 0,53             | 3,4                              | 25                               |        |                          |
| 16   | 9,8            | 8,5 | 1800                 | 0,55             | 3,7                              | 24                               |        |                          |
| 17   | 10,2           | 8,7 | 1760                 | 0,52             | 3,2                              | 27                               |        |                          |
| 18   | 9,6            | 8,4 | 1840                 | 0,54             | 3,3                              | 22                               |        |                          |
| 19   | 10             | 8,8 | 1720                 | 0,53             | 3,4                              | 26                               |        |                          |
| 20   | 9,54           | 8,7 | 1740                 | 0,55             | 3,7                              | 25                               |        |                          |
| 21   | 10,1           | 8,4 | 1800                 | 0,52             | 3,2                              | 24                               |        |                          |
| 22   | 9,8            | 8,8 | 1760                 | 0,54             | 3,3                              | 27                               |        |                          |
| 23   | 10,2           | 8,7 | 1840                 | 0,53             | 3,4                              | 22                               |        |                          |
| 24   | 9,6            | 8,4 | 1720                 | 0,55             | 3,7                              | 26                               |        |                          |
| 25   | 10             | 8,8 | 1820                 | 0,53             | 3,5                              | 25                               |        |                          |

3. Сумарна маса частин, що рухаються, приведена до коліс:

$$m_{T.лп.к} = \left( m + J_K \frac{1}{r_K^2} \right) + \delta J_K \frac{1}{r_K^2} i^2 \frac{1}{\eta} =$$

$$= \left( 10000 + 25 \cdot \frac{1}{0,53^2} \right) + 1,15 \cdot 3,5 \cdot \frac{1}{0,53^2} \cdot 8,6^2 \frac{1}{0,88} = 11296 \text{ Н.}$$

4. Гальмове зусилля на колесах машини при  $P_C = 2500 \text{ Н}$ :

$$P_{T.к} = m'_{T.лп.к} \frac{V}{V_T} - P_C = 11296 \frac{11,7}{1,7} - 2500 = 75243 \text{ Н.}$$

Найбільше гальмове зусилля буде потрібно при гальмуванні машини, що рухається вниз по склону.

При куті нахилу  $\alpha = 5^\circ$  необхідне гальмове зусилля

$$P_{T.к} = m'_{T.лп.к} \frac{V}{V_T} - P_C + G \cdot \sin \alpha =$$

$$= 11296 \frac{11,7}{1,7} - 2500 + 98100 \cdot 0,087 = 83778 \text{ Н.}$$

### Контрольні питання до задачі 3

- 1 Які навантаження виникають під час роботи механізму пересування пневмоколісної машини?
- 2 Коли гальмові зусилля набувають найбільшого значення?
- 3 Для чого сумарна маса машини приводиться до коліс?

## 2.4 Задача 4

Визначити необхідний гальмівний момент на валу двигуна механізму підйому вантажу (табл. 6).

|   |       |
|---|-------|
| - вантажопідйомність $Q$ , т  | 15;   |
| - приведений до вала двигуна момент інерції привода механізму підйому $J_D$ , кг·м <sup>2</sup> | 0,77; |
| - радіус барабана лебідки $R_B$ , м   | 0,25; |
| - передатне число редуктора $i_p$   | 37,7; |
| - передатне число відкритої зубчастої пари $i_0$  | 2,31; |
| - кратність поліспасти $a_n$  | 2;    |
| - ККД привода $\eta_M$  | 0,93; |
| - ККД поліспасти $\eta_{II}$  | 0,95; |
| - номінальна частота обертання вала двигуна $n_D$ , об/хв                                       | 965.  |



Вихідні дані до задачі 4

| Вар. | $Q, \text{ м}$ | $J_D, \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ | $R_B, \text{ м}$ | $n_D, \text{ об/хв}$ | $i_p$ | $i_0$ | $\eta_{II}$ | $a_n$ | $\eta_M, \text{ м}$ |
|------|----------------|----------------------------------|------------------|----------------------|-------|-------|-------------|-------|---------------------|
| 1    | 14,5           | 0,7                              | 0,22             | 840                  | 35    | 2,22  | 0,95        | 2     | 0,93                |
| 2    | 16             | 0,72                             | 0,26             | 860                  | 37    | 2,3   |             |       |                     |
| 3    | 12             | 0,8                              | 0,24             | 940                  | 36    | 2,25  |             |       |                     |
| 4    | 18             | 0,74                             | 0,25             | 1050                 | 36,5  | 2,32  |             |       |                     |
| 5    | 15             | 0,76                             | 0,2              | 965                  | 35,4  | 2,28  |             |       |                     |
| 6    | 14,5           | 0,75                             | 0,21             | 840                  | 37,2  | 2,26  |             |       |                     |
| 7    | 16             | 0,73                             | 0,26             | 860                  | 35    | 2,31  |             |       |                     |
| 8    | 12             | 0,7                              | 0,22             | 940                  | 37    | 2,22  |             |       |                     |
| 9    | 18             | 0,72                             | 0,26             | 1050                 | 36    | 2,3   |             |       |                     |
| 10   | 15             | 0,8                              | 0,24             | 965                  | 36,5  | 2,25  |             |       |                     |
| 11   | 14,5           | 0,74                             | 0,25             | 840                  | 35,4  | 2,32  |             |       |                     |
| 12   | 16             | 0,76                             | 0,2              | 860                  | 37,2  | 2,28  |             |       |                     |
| 13   | 12             | 0,75                             | 0,21             | 940                  | 35    | 2,26  |             |       |                     |
| 14   | 18             | 0,73                             | 0,26             | 1050                 | 37    | 2,31  |             |       |                     |
| 15   | 15             | 0,7                              | 0,22             | 965                  | 36    | 2,22  |             |       |                     |
| 16   | 14,5           | 0,72                             | 0,26             | 840                  | 36,5  | 2,3   |             |       |                     |
| 17   | 16             | 0,8                              | 0,24             | 860                  | 35,4  | 2,25  |             |       |                     |
| 18   | 12             | 0,74                             | 0,25             | 940                  | 37,2  | 2,32  |             |       |                     |
| 19   | 18             | 0,76                             | 0,2              | 1050                 | 35    | 2,28  |             |       |                     |
| 20   | 15             | 0,75                             | 0,21             | 965                  | 37    | 2,26  |             |       |                     |
| 21   | 14,5           | 0,73                             | 0,26             | 840                  | 36    | 2,31  |             |       |                     |
| 22   | 16             | 0,72                             | 0,2              | 860                  | 36,5  | 2,32  |             |       |                     |
| 23   | 12             | 0,8                              | 0,21             | 940                  | 35,4  | 2,28  |             |       |                     |
| 24   | 18             | 0,74                             | 0,26             | 1050                 | 37,2  | 2,26  |             |       |                     |
| 25   | 15             | 0,78                             | 0,28             | 965                  | 37,7  | 2,1   |             |       |                     |

## Порядок розрахунку

1. Загальне передатне число та ККД редуктора і зубчастої пари:

$$i = i_p \cdot i_0 = 37,7 \cdot 2,31 = 87,3; \quad \eta = \eta_M \cdot \eta_{II} = 0,93 \cdot 0,95 = 0,88.$$

2. Статичний момент від сил опору, приведений до вала двигуна при гальмуванні:

$$M'_{CT} = \frac{QR_B \eta}{2a_n i} = \frac{147000 \cdot 0,25 \cdot 0,88}{2 \cdot 2 \cdot 87,3} = 92,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Сумарний момент інерції механізму, приведений до вала двигуна:

$$J'_{T.лп} = \delta J_D + \frac{mR_B^2}{i^2 a_n^2} z = 1,20 \cdot 0,77 + \frac{15000 \cdot 0,25^2}{87,3^2 \cdot 2^2} \cdot 0,88 = 0,956 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

4. Надлишковий гальмівний момент при часі гальмування
- $t_T = 1 \text{ с}$
- :

$$M'_{изб.д} = J'_{T.лп} \frac{0,105 n_D}{t_T} = 0,956 \frac{0,105 \cdot 965}{1} = 97 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5. Момент, що створюється гальмом на валу двигуна:

$$M_{T.Д} = J'_{T.ЛР} \frac{0,105n_{Д}}{t_T} + M'_{СТ.Д} = 97 + 92,6 = 189,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

6. Гальмівний момент із урахуванням коефіцієнта запасу відповідно до режиму експлуатації  $\beta_T = 1,75$ :  $M_T = M_{См} \cdot \beta_T = 92,6 \cdot 1,75 = 162 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

Для подальшого розрахунку і вибору гальма треба прийняти більше із двох розрахункових значень гальмівного моменту ( $M_T = 189,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ).

### Контрольні питання до задачі 4

1 З якою метою потрібно визначення гальмівного моменту на валу двигуна механізму підйому вантажу?

2 Чому із отриманих значень гальмівного моменту для подальшого розрахунку і вибору гальма потрібно використовувати найбільше?

### 2.5 Задача 5

Визначити динамічні зусилля, що діють на робоче обладнання бульдозера ( $\eta = 0,85$ ) при впровадженні його в штабель щебеню (табл. 7).

|   |                      |
|---|----------------------|
| - маса бульдозера $m_2$ , т   | 12;                  |
| - приведений до вала двигуна момент інерції привода механізму $J_{Д}$ , кг·м <sup>2</sup> | 4,9;                 |
| - номінальна потужність двигуна $N_{Д}$ , кВт   | 103;                 |
| - частота обертання двигуна $n_{Д}$ , об/хв   | 1070;                |
| - радіус привідних зірочок гусеничного ходу $r$ , м                                       | 0,3;                 |
| - передатні числа трансмісії при роботі на передачі:                                      |                      |
| - першій $i_I$  | 70,4;                |
| - другій $i_{II}$   | 43,07;               |
| - третій $i_{III}$  | 30,17;               |
| - четвертій $i_{IV}$  | 19,31;               |
| - п'ятій $i_V$  | 15,03;               |
| - поздовжня жорсткість робочого обладнання бульдозера $c_1$ , Н/м                         | 10 <sup>7</sup> ;    |
| - жорсткість щебеню у штабелі $c_2$ , Н/м   | 49·10 <sup>3</sup> ; |
| - ККД трансмісії $\eta$   | 0,85.                |

### Порядок розрахунку

1. Момент на валу двигуна:

$$M_{Д} = \frac{9550N_{Д}}{n_{Д}} = \frac{9550 \cdot 103}{1070} = 920 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таблиця 7

Вихідні дані до задачі 5

| Вар | $m_2,$<br>т | $J_D,$<br>кг·м <sup>2</sup> | $N_D,$<br>кВт | $n_D,$<br>об/хв | $\tau,$<br>м | Передавні числа |          |           |          |       | $c_1,$<br>Н/м   | $c_2,$<br>Н/м      |
|-----|-------------|-----------------------------|---------------|-----------------|--------------|-----------------|----------|-----------|----------|-------|-----------------|--------------------|
|     |             |                             |               |                 |              | $i_I$           | $i_{II}$ | $i_{III}$ | $i_{IV}$ | $i_V$ |                 |                    |
| 1   | 11,5        | 4,5                         | 100           | 960             | 0,25         | 68,5            | 43       | 30,1      | 19,3     | 15,02 | 10 <sup>7</sup> | 47·10 <sup>3</sup> |
| 2   | 12,2        | 5,2                         | 102           | 1040            | 0,28         | 70              | 42,8     | 29,5      | 19       | 15    |                 |                    |
| 3   | 11,9        | 4,4                         | 98            | 980             | 0,31         | 69,2            | 43,2     | 30,2      | 18,8     | 14,9  |                 |                    |
| 4   | 12          | 4,7                         | 105           | 1020            | 0,26         | 72              | 42,5     | 29,8      | 19,4     | 15,1  |                 |                    |
| 5   | 10,8        | 5                           | 104           | 1070            | 0,34         | 69              | 44       | 30,1      | 19,3     | 14,88 |                 |                    |
| 6   | 11,5        | 5,2                         | 101           | 940             | 0,3          | 70,4            | 43,02    | 29,5      | 19       | 15,04 |                 |                    |
| 7   | 12,2        | 5,1                         | 110           | 960             | 0,25         | 68,5            | 43       | 30,2      | 18,8     | 15,02 |                 |                    |
| 8   | 11,9        | 4,8                         | 103           | 1040            | 0,28         | 70              | 42,8     | 29,8      | 19,4     | 15    |                 |                    |
| 9   | 12          | 4,5                         | 100           | 980             | 0,31         | 69,2            | 43,2     | 30,1      | 19,3     | 14,9  |                 |                    |
| 10  | 10,8        | 5,2                         | 102           | 1020            | 0,26         | 72              | 42,5     | 29,5      | 19       | 15,1  |                 |                    |
| 11  | 11,5        | 4,4                         | 98            | 1070            | 0,34         | 69              | 44       | 30,2      | 18,8     | 14,88 |                 |                    |
| 12  | 12,2        | 4,7                         | 105           | 940             | 0,3          | 70,4            | 43,02    | 29,8      | 19,4     | 15,04 |                 |                    |
| 13  | 11,9        | 5                           | 104           | 960             | 0,25         | 68,5            | 43       | 30,1      | 19,3     | 15,02 |                 |                    |
| 14  | 12          | 5,2                         | 101           | 1040            | 0,28         | 70              | 42,8     | 29,5      | 19       | 15    |                 |                    |
| 15  | 10,8        | 5,1                         | 110           | 980             | 0,31         | 69,2            | 43,2     | 30,2      | 18,8     | 14,9  |                 |                    |
| 16  | 11,5        | 4,8                         | 103           | 1020            | 0,26         | 72              | 42,5     | 29,8      | 19,4     | 15,1  |                 |                    |
| 17  | 12,2        | 4,5                         | 100           | 1070            | 0,34         | 69              | 44       | 30,1      | 19,3     | 14,88 |                 |                    |
| 18  | 11,9        | 5,2                         | 102           | 940             | 0,3          | 70,4            | 43,02    | 29,5      | 19       | 15,04 |                 |                    |
| 19  | 12          | 4,4                         | 98            | 960             | 0,25         | 68,5            | 43       | 30,2      | 18,8     | 15,02 |                 |                    |
| 20  | 10,8        | 4,7                         | 105           | 1040            | 0,28         | 70              | 42,8     | 29,8      | 19,4     | 15    |                 |                    |
| 21  | 11,9        | 5                           | 104           | 980             | 0,31         | 69,2            | 43,2     | 30,1      | 19,3     | 14,9  |                 |                    |
| 22  | 12          | 5,2                         | 101           | 1020            | 0,26         | 72              | 42,5     | 29,5      | 19       | 15,1  |                 |                    |
| 23  | 10,8        | 5,1                         | 110           | 1070            | 0,34         | 69              | 44       | 30,2      | 18,8     | 14,88 |                 |                    |
| 24  | 11,5        | 4,8                         | 108           | 940             | 0,32         | 70,2            | 43,02    | 29,8      | 19,4     | 15,04 |                 |                    |
| 25  | 12          | 4,7                         | 103           | 1070            | 0,3          | 70,4            | 43,07    | 30,1      | 19,31    | 15,03 |                 |                    |

2. Для кожної передачі:

- момент на привідних зірочках:

$$M_{PK} = M_D \cdot i \cdot \eta;$$

- рушійне зусилля на привідних зірочках:  $P_p = \frac{M_{PK}}{r};$

- швидкість бульдозера  $V = \frac{0,105n_D}{i};$

- маса обертових частин привода, приведена до привідних котків:

$$m_1 = \delta \cdot J_D \frac{1}{r^2} i^2 + J_K \frac{1}{r^2} \approx \delta \cdot J_D \frac{1}{r^2} i^2 = 1,2 J_D \frac{1}{r^2} i^2;$$

- надлишкове зусилля привода, приведенне до обода привідних зірочок (при цьому статичний опір або опір коченню  $P_C = Gf_K = 118000 \cdot 0,07 = 8260H$  при  $f_K = 0,07$ ):  $P_{изб} = P_p - P_C.$

3. Приведена жорсткість системи «робоче обладнання - штабель щеню»:  $c = c_1 c_2 / (c_1 + c_2)$

Так як жорсткість робочого обладнання значно більше жорсткості

взаємодіючого з ним матеріалу:  $c \approx c_2 = 4,9 \cdot 10^4 \text{ Н / м}$ .

4. Частота власних коливань системи:

$$k = \sqrt{\frac{c(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}}$$

5. Динамічні навантаження, що діють на робоче обладнання бульдозера:

$$F_{\max} = \frac{cV}{k} + \frac{m_2 \cdot P_{\text{Ізб}}}{m_1 + m_2} + P_C$$

Результати розрахунку зведені до таблиці 3.

Таблиця 8

Результати розрахунку

| Параметр                     | Передача |        |       |       |       |
|------------------------------|----------|--------|-------|-------|-------|
|                              | I        | II     | III   | IV    | V     |
| $M_{P.K}, \text{ Нм}$        | 55000    | 34200  | 23420 | 15000 | 12200 |
| $P_P, \text{ Н}$             | 183500   | 114000 | 78000 | 50000 | 40600 |
| $V, \text{ м/с}$             | 0,477    | 0,78   | 1,12  | 1,74  | 2,15  |
| $m_I, \text{ Н}$             | 323000   | 121000 | 59100 | 24400 | 16000 |
| $P_{\text{Ізб}}, \text{ Н}$  | 175240   | 105740 | 69740 | 41740 | 31340 |
| $k, \text{ Гц}$              | 7,1      | 7,33   | 7,67  | 8,55  | 9,25  |
| $F_{\max}, \text{ Н}$        | 17820    | 23040  | 29110 | 31810 | 33060 |
| $k_D = \frac{F_{\max}}{P_C}$ | 2,16     | 2,78   | 3,51  | 3,84  | 4,05  |

Аналізуючи вплив окремих складових на  $F_{\max}$ , видно, що на нижчих передачах найбільший вплив на динамічні навантаження робочого обладнання бульдозера робить складова сили  $F_{\max}$ , що залежить від надлишкового тягового зусилля на двигунах машини. На вищих передачах значно зростає вплив першої складової величини  $F_{\max}$ , що залежить від швидкості, з якої відвал бульдозера впроваджується в матеріал, і від приведеної жорсткості робочого обладнання і матеріалу.

### Контрольні питання до задачі 5

1 Як відбувається процес впровадження робочого обладнання бульдозера в штабель щебеню?

2 Як визначити приведену жорсткість системи «робоче обладнання - штабель щебеню»?

3 Які параметри є найбільш впливовими на динамічні навантаження робочого обладнання бульдозера під час його роботи?

## 2.6 Задача 6

Визначити динамічне зусилля, що діє на механізм обертання баштового крана ( $\eta=0,474$ ) при пуску двигуна (табл. 9).

|  |          |
|--|----------|
| - вантажопідйомність крана $Q$ , т   | 7,5;     |
| - частота обертання стріли $n_0$ , об/хв   | 0,5;     |
| - виліт стріли $R_0$ , м   | 25;      |
| - потужність двигуна механізму обертання $N_D$ , кВт   | 7,5;     |
| - частота обертання вала двигуна $n_D$ , об/хв   | 680;     |
| - максимальний пусковий момент двигуна $M_{П.Д}$ , Н·м   | 158;     |
| - приведений до вала двигуна момент інерції привода механізму $J_D$ , кг·м <sup>2</sup>            | 0,2;     |
| - момент інерції поворотної частини крана без вантажу щодо осі обертання $J_0$ , кг·м <sup>2</sup> | 6750000; |
| - статичний момент опору обертанню $M_C$ , Н·м   | 50000;   |
| - ККД механізму $\eta$   | 0,474.   |

### Порядок розрахунку

1. Пусковий момент на валу двигуна

$$M_{П.Д} = K_{П} \frac{9550N_D}{n_D} = 1,5 \frac{9550 \cdot 7,5}{680} = 158 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Передатне число механізму

$$i = \frac{n_D}{n_0} = \frac{680}{0,5} = 1360.$$

3. Пусковий момент двигуна, приведений до вісі обертання крана

$$M_{P,0} = M_{П.Д} \cdot i \cdot \eta = 158 \cdot 1360 \cdot 0,474 = 102000 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4. Надлишковий момент на вісі крана

$$M_{Изб.0} = M_{P,0} - M_C = 102000 - 50000 = 52000 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5. Момент інерції обертових частин привода, приведений до вісі обертання.

При цьому визначення моментів інерції безпосередньо не пов'язується із визначенням рухомого або надлишкового моментів, тому величину  $J_1$  варто знаходити без врахування  $\eta$ :

$$J_1 = J_{Пр.0} = \delta J_D i^2 = 1,2 \cdot 0,2 \cdot 1360^2 = 454400 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

6. Сумарний момент інерції обертової частини крана й вантажу

$$J_2 = J_0 + mR_0^2 = 6750000 + 7500 \cdot 25^2 = 11437500 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Вихідні дані до задачі 6

| Вар | $Q, t$ | $\rho_0, об/хв$ | $R_0, м$ | $N_{Д}, кВт$ | $n_{Д}, об/хв$ | $M_{П.Д}, Н·м$ | $J_{Д}, кг·м^2$ | $J_0, кг·м^2$ | $M_C, Н·м$ |
|-----|--------|-----------------|----------|--------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|------------|
| 1   | 7      | 0,44            | 22       | 7            | 620            | 150            | 0,18            | 6750500       | 50100      |
| 2   | 7,2    | 0,52            | 24       | 7,2          | 720            | 146            | 0,22            | 6751000       | 52000      |
| 3   | 8      | 0,45            | 20       | 8            | 680            | 154            | 0,2             | 6745000       | 51050      |
| 4   | 10     | 0,5             | 26       | 8,4          | 650            | 180            | 0,19            | 6750000       | 50000      |
| 5   | 9      | 0,44            | 25       | 7,5          | 800            | 160            | 0,24            | 6750500       | 50100      |
| 6   | 8,5    | 0,52            | 24       | 6,8          | 620            | 152            | 0,18            | 6751050       | 52000      |
| 7   | 7,5    | 0,45            | 21       | 7            | 720            | 149            | 0,22            | 6745000       | 51050      |
| 8   | 7      | 0,5             | 22       | 7,2          | 680            | 157            | 0,2             | 6750000       | 50000      |
| 9   | 7,2    | 0,44            | 24       | 8            | 650            | 158            | 0,19            | 6750500       | 50100      |
| 10  | 8      | 0,52            | 20       | 8,4          | 800            | 150            | 0,24            | 6751000       | 52000      |
| 11  | 10     | 0,45            | 26       | 7,5          | 620            | 146            | 0,18            | 6745000       | 51050      |
| 12  | 9      | 0,5             | 25       | 6,8          | 720            | 154            | 0,22            | 6750000       | 50000      |
| 13  | 8,5    | 0,44            | 24       | 7            | 680            | 180            | 0,2             | 6750550       | 50100      |
| 14  | 7,5    | 0,52            | 21       | 7,2          | 650            | 160            | 0,19            | 6751000       | 52000      |
| 15  | 7      | 0,45            | 22       | 8            | 800            | 152            | 0,24            | 6745000       | 51050      |
| 16  | 7,2    | 0,5             | 24       | 8,4          | 620            | 149            | 0,18            | 6750000       | 50000      |
| 17  | 8      | 0,44            | 20       | 7,5          | 720            | 157            | 0,22            | 6750500       | 50100      |
| 18  | 10     | 0,52            | 26       | 6,8          | 680            | 158            | 0,2             | 6751000       | 52000      |
| 19  | 9      | 0,45            | 25       | 7            | 650            | 180            | 0,19            | 6745000       | 51050      |
| 20  | 8,5    | 0,5             | 24       | 7,2          | 800            | 160            | 0,24            | 6750000       | 50000      |
| 21  | 7,5    | 0,44            | 21       | 8            | 620            | 152            | 0,18            | 6750500       | 50100      |
| 22  | 7,2    | 0,52            | 22       | 8,4          | 720            | 149            | 0,22            | 6751000       | 52000      |
| 23  | 8      | 0,45            | 24       | 7,5          | 680            | 157            | 0,2             | 6745050       | 51050      |
| 24  | 10     | 0,56            | 20       | 6,8          | 650            | 160            | 0,19            | 6750000       | 50150      |
| 25  | 9      | 0,5             | 25       | 7,5          | 680            | 158            | 0,2             | 6750000       | 50000      |

7. Динамічний момент, що сприймається поворотною частиною крана

$$M_{F.max} = \frac{2J_2 M_{Пзб}}{J_1 + J_2} + M_C = \frac{2 \cdot 11437500 \cdot 52000}{454400 + 11437500} + 50000 = 150000 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

8. Коефіцієнт динамічності

$$K_D = \frac{M_{F.max}}{M_C} = \frac{150000}{50000} = 3.$$

### Контрольні питання до задачі 5

1 Які навантаження виникають під час роботи механізму обертання баштового крана?

2 Які параметри характеризує коефіцієнт динамічності?

### 3. ГРАФІК ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

| № з/п | Найменування етапу                       | Термін виконання             |
|-------|--|------------------------------|
| 1.    | Виконання задачі 1                       | 2-й – 3-й тиждень семестру   |
| 2.    | Виконання задачі 2                       | 4-й – 5-й тиждень семестру   |
| 3.    | Виконання задачі 3                       | 6-й – 7-й тиждень семестру   |
| 4.    | Виконання задачі 4                       | 8-й – 9-й тиждень семестру   |
| 5.    | Виконання задачі 5                       | 10-й – 11-й тиждень семестру |
| 6.    | Виконання задачі 6                       | 12-й – 13-й тиждень семестру |
| 7.    | Оформлення проекту та подання на кафедру | 14-й – 15-й тиждень семестру |

### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 3.1102-81. ЕСТД. Стадии разработки и виды документов. - М.: Изд-во стандартов, 1982.
2. ГОСТ 3.1103-81. ЕСТД. Основные надписи. - М.: Изд-во стандартов, 1983.
3. ГОСТ 3.1104-81. ЕСТД. Общие требования к формам, бланкам и документам. - М.: Изд-во стандартов, 1984.
4. ГОСТ 3.1105-84. ЕСТД. Формы и правила оформления документов общего назначения. - М.: Изд-во стандартов, 1985.
5. ГОСТ 3.1107-81. ЕСТД. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения. - М.: Изд-во стандартов, 1982.
6. ГОСТ 3.1118-82. ЕСТД. Формы и правила оформления маршрутных карт. - М.: Изд-во стандартов, 1983.
7. ГОСТ 3.1122-84. ЕСТД. Формы и правила оформления документов специального назначения. Ведомости технологические. - М.: Изд-во стандартов, 1985.
8. ГОСТ 3.1201-85. ЕСТД. Система обозначения технологической документации. - М.: Изд-во стандартов, 1985.
9. ГОСТ 3.1404-86. ЕСТД. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием. - М.: Изд-во стандартов, 1986.
10. ГОСТ 3.1502-85. ЕСТД. Формы и правила оформления документов на технический контроль. - М.: Изд-во стандартов, 1986.
11. ГОСТ 3.1702-79. ЕСТД. Правила записи операций и переходов. Обработки резанием. - М.: Изд-во стандартов, 1982.
12. ГОСТ 3.1703-79. ЕСТД. Правила записи операций и переходов. Слесарные, слесарно-сборочные работы. - М.: Изд-во стандартов, 1983.
13. ДСТУ 2733-94. Корозія та тимчасовий протикорозійний захист металевих виробів. Терміни та визначення. - К.: Держстандарт України, 1994.

14. Руденко П. А. Заготовки деталей машин: Справочник. / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов. – К.: Техніка, 1992. – 288 с.

15. Руденко П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач. – К.: Вища школа. Главное изд-во, 1991. – 242 с.

16. Картавов С. А. Технология машиностроения / С. А. Картавов. – К.: Вища школа. Главное изд-во, 1984. – 272 с.









Навчально-методичне видання

# ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА ПРИСТРОЇ

Методичні вказівки

Укладачі

*Ю.Ю.Жигуц, Б.Я.Хом'як, О.В.Габовда*

Тираж 10 пр.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виготовлювачів і  
розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 4916 від  
16.06.2015 р.

Редакційно-видавничий відділ МДУ,  
89600, м. Мукачево, вул. Ужгородська, 26