

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов специальности  
1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные,  
дорожные машины и оборудование»  
дневной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 69.002.5  
ББК 38.6+-5  
С86

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Транспортные и технологические машины»  
«31» января 2023 г., протокол № 6

Составитель канд. техн. наук, доц. И. В. Лесковец

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. Е. Науменко

Методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине  
«Строительные машины непрерывного действия» предназначены для студентов  
специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные  
машины и оборудование» дневной формы обучения.

Учебное издание

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

Введение.....	4
1 Практическое занятие № 1. Определение мощности для работы однофрезерного каналокопателя .....	5
2 Практическое занятие № 2. Определение мощности двигателя для каналокопателя двухроторного с осью вращения, перпенди- кулярной откосу.....	10
3 Практическое занятие № 3. Определение основных параметров и мощности двигателя для каналокопателя однофрезерного с осью вращения, параллельной направлению движения машины и оси канала .....	15
4 Практическое занятие № 4. Определение основных параметров и мощности двигателя для каналокопателя продольного копания.....	24
Список литературы .....	29

## Введение

Целью преподавания дисциплины «Строительные машины непрерывного действия» является формирование знаний, умений и навыков у студентов, обучающихся по специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование», позволяющих знать основные методы расчетов, методики проектирования, особенности эксплуатации, преимущества машин непрерывного действия, применяющихся в строительстве. В результате освоения учебной дисциплины обучающийся

познает:

- конструкции машин непрерывного действия;
- методы расчета машин непрерывного действия;
- методики проектирования машин непрерывного действия;
- особенности эксплуатации машин непрерывного действия;

Научится:

- проектировать рабочее оборудование машин непрерывного действия;
- проводить расчеты параметров и характеристик машин непрерывного действия;
- определять оптимальные режимы эксплуатации машин непрерывного действия с учетом их особенностей;

овладеет:

- методиками проектирования рабочего оборудования машин непрерывного действия;
- методиками проведения расчетов параметров и характеристик машин непрерывного действия;
- методиками определения оптимальных режимов эксплуатации машин непрерывного действия с учетом их особенностей.

Целью методических рекомендаций является формирование умений и навыков разработки конструкторской документации на рабочее оборудование мелиоративных машин и оборудования.

Результатом выполнения практической работы является отчет, содержащий расчеты в соответствии с заданием на практическое занятие.

# 1 Практическое занятие № 1. Определение мощности для работы однофрезерного каналокопателя

## Цель работы:

- 1) изучение методики расчета мощности двигателя однофрезерного каналокопателя;
- 2) освоение методики расчета мощности двигателя однофрезерного каналокопателя.

### 1.1 Порядок выполнения работы

- 1 Изучить теоретические сведения.
- 2 Выполнить расчет мощности двигателя одноковшового каналокопателя.
- 3 Построить графики в соответствии с индивидуальным заданием.

### 1.2 Содержание отчета

Расчет мощности двигателя одноковшового каналокопателя. Анализ зависимости мощности от выбранных параметров в соответствии с таблицей 1.1.

### 1.3 Теоретические сведения

Определяем мощность двигателя для каналокопателя однофрезерного с осью вращения, перпендикулярной к направлению движения машин и оси канала.

#### Методика расчета.

Мощность двигателя на привод каналокопателя определяется по формуле

$$N_{\text{дв}} = (N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_n + N_{\text{вс}})\eta, \quad (1.1)$$

где  $N_2$  – мощность на деформацию грунта и разгон до скорости выброса;

$N_3$  – мощность на трение грунта, находящегося на концах лопаток, о грунт забоя;

$N_4$  – мощность на подъем грунта из забоя;

$N_5$  – мощность на фрезерование грунта торцовыми кромками лопаток;

$N_6$  – мощность на вентиляцию воздуха фрезами;

$N_n$  – мощность на передвижение машины;

$N_{\text{вс}}$  – мощность на привод вспомогательного оборудования;

$\eta$  – КПД привода.

Мощность на деформацию грунта и разгон до скорости выброса определяется по формуле

$$N_2 = \frac{\gamma \cdot \Pi \cdot g}{3600 \cdot 10^3}, \quad (1.2)$$

где  $\Pi$  – производительность каналокопателя, м<sup>3</sup>/ч;

$\gamma$  – объемный вес грунта, Н/м<sup>3</sup>;  $\gamma = m_2 \cdot g$ ;

$g$  – гравитационное ускорение,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Производительность каналокопателя определяется по формуле

$$\Pi = 3600 \cdot A_k \cdot v_m, \quad (1.3)$$

где  $A_k$  – площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>.

Площадь поперечного сечения канала определяется по формуле

$$A_k = B\delta \cdot H_k + \frac{H_k^2}{\tan(\alpha_k)}. \quad (1.4)$$

Мощность на трение грунта, находящегося на концах лопаток, о грунт забоя определяется по формуле

$$N_3 = \frac{0,7 \cdot \Pi \cdot \gamma}{3600 \cdot 10^3}. \quad (1.5)$$

Мощность на подъем грунта из забоя определяется по формуле

$$N_4 = \frac{\Pi \cdot \gamma \cdot v_{fp}}{3600 \cdot 10^3}, \quad (1.6)$$

где  $v_{fp}$  – скорость фрезерования, м/с;

$$v_{fp} = \sqrt{70 \cdot R}, \quad (1.7)$$

где  $R$  – наружный радиус фрезы, м;  $R = 1,2 H_k$ .

Мощность на фрезерование грунта торцовыми кромками определяется по формуле

$$N_5 = k_2 \cdot B_l \cdot v_{fp} \cdot z_z, \quad (1.8)$$

где  $k_2$  – удельное сопротивление копанию грунта торцовыми кромками, кПа;  $k_2 = 65$ ;

$B_l$  – ширина лопаток фрезы, м;  $B_l = 0,4$  м;

$z_z$  – число лопаток в забое.

Число лопаток в забое определяется по формуле

$$z \cdot \arctan\left(\frac{H_k}{R}\right),$$

$$z z = \frac{2\pi}{}, \quad (1.9)$$

где  $z$  – число лопаток на фрезе,  $z = 12$ .

Мощность на вентиляцию воздуха фрезами определяем по формуле

$$N_6 = \frac{\gamma_v \cdot B_{л} \cdot v_{фр}^3}{750 \cdot g}, \quad (1.10)$$

где  $\gamma_v$  – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\gamma_v = 1,2$ .

Мощность на передвижение машины определяется по формуле

$$N_n = \kappa_c \cdot G_m \cdot v_m, \quad (1.11)$$

где  $G_m$  – вес машины, кН;

$\kappa_c$  – коэффициент сопротивления перемещению машины,  $\kappa_c = 0,09$ .

Мощность на привод вспомогательного оборудования определяется по формуле

$$N_{вс} = 0,05(N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6). \quad (1.12)$$

Мощность двигателя определяется по формуле

$$N_{дв} = (N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_n + N_{вс}) \cdot \eta. \quad (1.13)$$

#### 1.4 Варианты для индивидуальных заданий

Таблица 1.1 – Варианты для индивидуальных заданий

Номер варианта	Наименование параметра			
	Глубина канала, м	Ширина канала по дну, м	Угол заложения откосов, град	Скорость движения трактора, м/с
1	0,5	1,5	20	0,1
2	0,6	1,4	25	0,2
3	0,7	1,3	30	0,3
4	0,8	1,2	35	0,4
5	0,9	1,1	40	0,5
6	1,0	1,0	45	0,6
7	1,1	0,9	50	0,7
8	1,2	0,8	55	0,8
9	1,3	0,7	40	0,9
10	1,4	0,6	45	1,0

### Пример расчета.

Определяем мощность двигателя для каналокопателя однофрезерного с осью вращения, перпендикулярной к направлению движения машин и оси канала.

Принимаем исходные данные:

- проектная глубина канала  $H_k = 2$  м;
- ширина канала по дну  $B_d = 0,5$  м;
- величина угла заложения откосов  $\alpha_k = 60$  град;
- скорость движения машины  $v_m = 0,25$  м/с;
- объемная масса грунта  $m_z = 1700$  кг/м<sup>3</sup>;
- удельное сопротивление копанью грунта торцовыми кромками  $k_2 = 65$ , кПа;
- ширина лопаток фрезы  $B_l = 0,4$  м;
- эксплуатационный вес машины с рабочим оборудованием,  $G_e = 150$  кН;
- коэффициент сопротивления передвижению  $k_c = 0,09$ ;
- скорость передвижения машины  $v_m = 0,25$  м/с.

### Расчет.

Определяем площадь поперечного сечения канала по формуле (1.4):

$$A_k = 0,5 \cdot 2 + \frac{2^2}{\tan\left(\frac{3,14 \cdot 60}{180}\right)} = 3,309 \text{ м}^2.$$

Определяем производительность каналокопателя по формуле (1.3):

$$П = 3600 \cdot 3,309 \cdot 0,25 = 2,978 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Объемный вес грунта  $\gamma = 1700 \cdot 9,81 = 1,668 \cdot 10^4$  Н/м<sup>3</sup>.

Мощность на деформацию грунта и разгон до скорости выброса определяем по формуле (1.2):

$$N_2 = \frac{1,668 \cdot 10^4 \cdot 2,978 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{3600 \cdot 10^3} = 135,356 \text{ кВт}.$$

Мощность на трение грунта, находящегося на концах лопаток, о грунт забоя определяется по формуле (1.5):

$$N_3 = \frac{0,7 \cdot 2,978 \cdot 10^3 \cdot 1,668 \cdot 10^4}{3600 \cdot 10^3} = 9,658 \text{ кВт}.$$

Наружный радиус фрезы

$$R = 1,2 \cdot H_k.$$



Наружный радиус фрезы

$$R = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м.}$$

Скорость фрезерования определяем по формуле (1.7):

$$v_{fp} = \sqrt{70 \cdot 2,4} = 12,961 \text{ м.}$$

Мощность на подъем грунта из забоя определяется по формуле (1.6):

$$N_4 = \frac{2,978 \cdot 10^3 \cdot 1,668 \cdot 10^4 \cdot 12,961}{3600 \cdot 10^3} = 178,839 \text{ кН.}$$

Число лопаток в забое определяется по формуле (1.9):

$$z_z = \frac{12 \cdot \arctan\left(\frac{2}{2,4}\right)}{2 \cdot 3,14} = 1,327.$$

Мощность на фрезерование грунта торцовыми кромками определяется по формуле (1.8):

$$N_5 = 65 \cdot 0,4 \cdot 12,961 \cdot 1,327 \text{ кН.}$$

Мощность на вентиляцию воздуха фрезами определяется по формуле (1.10):

$$N_6 = \frac{1,2 \cdot 0,4 \cdot 12,961^3}{750 \cdot 9,81} = 1,705 \text{ кВт.}$$

Мощность на передвижение машины определяется по формуле (1.11):

$$N_n = 0,09 \cdot 150 \cdot 0,25 = 3,375.$$

Мощность на привод вспомогательного оборудования определяется по формуле (1.12):

$$N_{ec} = 0,05(135,356 + 9,658 + 178,839 + 447,147 + 1,705) = 38,635 \text{ кН.}$$

Мощность двигателя определяется по формуле (1.13):

$$N_{дв} = (135,356 + 9,658 + 178,839 + 447,147 + 1,705 + 3,375 + 38,635) \cdot 0,8 = 651,772.$$

## **2 Практическое занятие № 2. Определение мощности двигателя для каналокопателя двухроторного с осью вращения, перпендикулярной откосу**

### **Цель работы:**

- 1) изучение методики расчета мощности двигателя двухроторного каналокопателя;
- 2) освоение методики расчета мощности двигателя двухроторного каналокопателя.

### **2.1 Порядок выполнения работы**

- 1 Изучить теоретические сведения.
- 2 Выполнить расчет мощности двигателя двухроторного каналокопателя.
- 3 Построить графики в соответствии с индивидуальным заданием.
- 4 Проанализировать зависимость мощности от выбранных параметров.

### **2.2 Содержание отчета**

Расчет мощности двигателя двухроторного каналокопателя. Анализ зависимости мощности от выбранных параметров.

### **2.3 Теоретические сведения**

Мощность двигателя двухроторного каналокопателя определяется по формуле

$$N_{дв} = \frac{Nk + Np + Nn + Nmp + Nm}{\eta}, \quad (2.1)$$

где  $Nk$  – мощность, затрачиваемая на копание грунта;

$Np$  – мощность на разгон грунта;

$Nn$  – мощность на подъем грунта;

$Nmp$  – мощность на трение грунта о поверхность забоя;

$Nm$  – мощность на перемещение машины;

$\eta$  – КПД трансмиссии.

Мощность, затрачиваемая на копание грунта, определяется по формуле

$$N_k = \frac{k_1 \cdot \Pi m}{3600}, \quad (2.2)$$

где  $k_1$  – удельное сопротивление копанию грунта, Па;

$\Pi m$  – производительность каналокопателя, определяется по формуле

$$\Pi m = 3600 \cdot S_k \cdot V_t, \quad (2.3)$$

где  $S_k$  – площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>;

$V_t$  – скорость движения трактора, м/с.

Площадь поперечного сечения канала определяется по формуле

$$S_k = H_k (\cot(\alpha) \cdot H_k + b_\partial), \quad (2.4)$$

где  $H_k$  – глубина канала, м;

$\alpha$  – угол заложения откосов канала, рад;

$b_\partial$  – ширина канала по дну, м.

Мощность на разгон грунта определяется по формуле

$$N_p = \frac{\Pi m \cdot \rho \cdot V_o}{7,2 \cdot 10^6}, \quad (2.5)$$

где  $\rho$  – плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>;

$V_o$  – окружная скорость ротора, м/с.

Окружная скорость ротора определяется по формуле

$$V_o = \sqrt{x \cdot \frac{dp \cdot g}{2}}, \quad (2.6)$$

где  $x$  – опытный коэффициент,  $x = 0,5$ ;

$dp$  – диаметр ротора, м;

$g$  – гравитационное ускорение.

Диаметр ротора определяется по формуле

$$dp = \frac{4 \left( H_k + \sqrt{\frac{k_p \cdot S_k}{2 \cdot \text{ctg}(\varphi_\partial)}} \right) - \frac{H_k}{0,5} \cdot \sin(\alpha)}{6 \cdot \sin(\alpha)}, \quad (2.7)$$

где  $k_p$  – коэффициент разрыхления грунта;

$\varphi_\partial$  – угол естественного откоса насыпного грунта.

Мощность на подъем грунта определяется по формуле

$$Nn = \frac{\Pi m \cdot \gamma \cdot h_{cp}}{3,6 \cdot 10^6}, \quad (2.8)$$

где  $h_{cp}$  – средняя высота подъема грунта,

$$h_{cp} = \frac{3 \cdot dp + d_0}{4} \sin(\alpha), \quad (2.9)$$

где  $d_0$  – диаметр ротора без учета высоты зубьев,

$$d_0 = dp - 2 \cdot Hz, \quad (2.10)$$

где  $Hz$  – высота зубьев.

Мощность на трение грунта по поверхности забоя определяется по формуле

$$Nmp = \frac{\gamma \cdot \Phi_z \cdot r_r \cdot \Pi m}{3,6 \cdot 10^6 \cdot g \cdot \cos(\alpha_{KH})} \times \left[ n_p^2 \left( r_r - \frac{Hz}{2} \right) \cdot a \cdot \left[ \alpha_{KH} \cdot \sin(\alpha_{KH}) \cdot \left( \sin(\alpha_{KH}) - \frac{\alpha_{KH}}{2} - \frac{\sin(\alpha_{KH})}{4} \right) + (1-a)(1-\cos(\alpha_{KH})) \left[ n_p^2 \left( r_r - \frac{Hz}{2} \right) \alpha_{KH} + g \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\alpha_{KH}) \right] \right] \right], \quad (2.11)$$

где  $r_r$  – радиус ротора по лопаткам, м;

$\alpha_{KH}$  – угол контакта фрезы с забоем;

$a$  – отношение площади, разрабатываемой фрезой, к площади сечения канала;

$n_p$  – частота вращения ротора,  $c^{-1}$ .

Угол контакта фрезы с забоем определяется по формуле

$$\alpha_{KH} = \arcsin \left( \sin \left( \frac{Hk}{\sin(\alpha)} - r_r \right) \right). \quad (2.12)$$

Отношение площади, разрабатываемой фрезой, к площади сечения канала определяется по формуле

$$a = \frac{Sp}{Sk}, \quad (2.13)$$

где  $Sp$  – площадь поперечного сечения канала, разрабатываемого непосредственно фрезой,  $\text{м}^2$ ;

$$Sp = bp \frac{Hk}{\sin(\alpha)}, \quad (2.14)$$

где  $bp$  – ширина ротора.

Предварительная ширина ротора определяется по формуле

$$bp_n = \frac{\Pi m}{3600(dp^2 - d_0^2) \frac{\pi}{4} \cdot n_p \cdot k_n \cdot i_p}, \quad (2.15)$$

где  $k_n$  – коэффициент заполнения рабочего пространства;

$i_p$  – количество роторов, размещенных в канале.

Мощность на сопротивление перемещению определяется по формуле

$$N_n = \kappa_c \cdot G_m \cdot v_m, \quad (2.16)$$

где  $G_m$  – вес машины, кН;

$\kappa_c$  – коэффициент сопротивления перемещению машины,  $\kappa_c = 0,09$ .

Суммарная мощность двигателя определяется по формуле

$$N_{\text{дв}} = \frac{Nk + Np + Nn + Nmp + Nm}{\eta}, \quad (2.17)$$

где  $\eta$  – КПД трансмиссии.

### Пример решения задачи.

Исходные данные:

- глубина канала  $Hk = 2$  м;
- ширина канала по дну  $b_d = 0,5$  м;
- плотность грунта  $\rho = 1700$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ;
- коэффициент разрыхления грунта  $kp = 1,3$ ;
- угол естественного откоса насыпного грунта  $\varphi_c = 30$  град;
- удельное сопротивление копанию грунта  $k1 = 80$  кПа;
- количество роторов, размещенных в канале,  $i_p = 2$ ;
- коэффициент сопротивления перемещению машины  $\kappa_c = 0,09$ ;
- скорость движения трактора  $v_m = 0,2$  м/с;
- КПД трансмиссии  $\eta = 0,87$ .

*Решение*

Площадь поперечного сечения канала определяем по формуле (2.4):

$$Sk = 2 \cdot (\cotan(0,524) \cdot 2 + 0,5) = 7,928 \text{ м.}$$

Производительность каналокопателя определяется по формуле (2.3):

$$Pm = 3600 \cdot 7,928 \cdot 0,2 = 5,708 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Мощность, затрачиваемая на сопротивление копанию грунта, определяется по формуле (2.2):

$$Nk = \frac{80 \cdot 5,708 \cdot 10^3}{3600} = 126,851 \text{ кВт.}$$

Диаметр ротора определяем по формуле (2.7):

$$dp = \frac{4 \left( 2 + \sqrt{\frac{1,3 \cdot 7,928}{2 \cdot \cotan(0,524)}} \right) - \frac{2}{0,5} \cdot \sin(0,524)}{6 \cdot \sin(0,524)} = 4,3 \text{ м.}$$

Окружную скорость ротора определяем по формуле (2.6):

$$Vo = \sqrt{0,5 \frac{4,3 \cdot 9,81}{2}} = 3,274 \text{ м/с.}$$

Мощность на разгон грунта определяется по формуле (2.5):

$$Np = \frac{5,708 \cdot 10^3 \cdot 1700 \cdot 3,247}{7,2 \cdot 10^6} = 13,377 \text{ кВт.}$$

Средняя высота подъема грунта определяется по формуле (2.9):

$$h_{cp} = \frac{3 \cdot 4,3 + 3,9}{4} \sin(0,524) \text{ м.}$$

Мощность на подъем грунта определяем по формуле (2.8):

$$Nn = \frac{5,708 \cdot 10^3 \cdot 1,57 \cdot 10^4 \cdot 2,1}{3,6 \cdot 10^6} = 52,264 \text{ кН.}$$

Определяем угол контакта фрезы с забоем по формуле (2.12):

$$\alpha_{KH} = \arcsin \left( \sin \left( \frac{\frac{H2}{\sin(0,524)} - 2,15}{2,15} \right) \right) = 0,861 \text{ рад.}$$

Мощность на трение грунта по поверхности забоя определяется по формуле (2.11):

$$N_{mp} = \frac{1,57 \cdot 10^4 \cdot 0,524 \cdot 2,15 \cdot 5,708 \cdot 10^3}{3,6 \cdot 10^6 \cdot 9,81 \cdot \cos(0,861)} \times$$

$$\times \left[ 0,24^2 \left( 2,15 - \frac{0,2}{2} \right) \cdot a \cdot \left[ 0,861 \cdot \sin(0,861) \cdot \left( \sin(0,861) - \frac{0,861}{2} - \frac{\sin(0,861)}{4} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + (1 - 0,227)(1 - \cos(0,861)) \times \left[ 0,24^2 \left( 2,15 - \frac{0,2}{2} \right) 0,861 + 9,81 \cdot \sin(0,524) \cdot \sin(0,861) \right] \right] \right] = 0,503 \text{ кВт.}$$

Мощность на сопротивление перемещению определяется по формуле (2.16):

$$N_n = 0,09 \cdot 150 \cdot 0,2 = 2,7 \text{ кВт.}$$

Суммарная мощность двигателя определяется по формуле (2.14):

$$N_{\partial в} = \frac{126,851 + 13,377 + 52,264 + 0,503 + 2,7}{0,87} = 224,937 \text{ кВт.}$$

### **3 Практическое занятие № 3. Определение основных параметров и мощности двигателя для каналокопателя однофрезерного с осью вращения, параллельной направлению движения машины и оси канала**

#### **Цель работы:**

1) изучение методики расчета основных параметров и мощности двигателя для каналокопателя однофрезерного с осью вращения, параллельной направлению движения машины и оси канала;

2) освоение методики расчета параметров и мощности двигателя для каналокопателя однофрезерного с осью вращения, параллельной направлению движения машины и оси канала.

### 3.1 Порядок выполнения работы

- 1 Изучить теоретические сведения.
- 2 Выполнить расчет основных параметров и мощности двигателя для каналокопателя однофрезерного с осью вращения, параллельной направлению движения машины и оси канала.
- 3 Построить графики в соответствии с индивидуальным заданием.
- 4 Проанализировать зависимость мощности от выбранных параметров.

### 3.2 Содержание отчета

Расчет основных параметров и мощности двигателя для каналокопателя однофрезерного с осью вращения, параллельной направлению движения машины и оси канала в соответствии с таблицей 3.1.

### 3.3 Теоретические сведения

Основные параметры и мощность двигателя для каналокопателя однофрезерного с осью вращения, параллельной направлению движения машины и оси канала, определяются по методике [1].

Определяем площадь поперечного сечения канала по формуле

$$Sk = Hk(\cotan(\alpha_o) \cdot Hk + b_D), \quad (3.1)$$

где  $Hk$  – глубина канала;

$\alpha_o$  – угол заложения откоса;

$b_D$  – ширина канала по дну.

Диаметр ротора по зубьям определяется исходя из необходимости вписывания ротора в поперечный контур сечения канала при его касании двух откосов и дна. Для определения диаметра ротора используем формулу

$$d_p = \frac{\frac{b_D}{2} \left( \frac{1}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_o\right)} - \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_o\right) \cdot \cos(\alpha_o) \right)}{1 - \cos(\alpha_o)}. \quad (3.2)$$

Проектную производительность каналокопателя определяем по формуле

$$Pm = 3600 \cdot Sk \cdot v_m, \quad (3.3)$$

где  $v_m$  – скорость трактора.



Значение максимальной ширины лопатки определяется по эмпирической зависимости

$$b_l = \frac{40 + 2,35 \cdot \Pi m}{1000} . \quad (3.4)$$

Откорректированное значение максимальной ширины лопатки можно принять из конструктивных соображений.

Длину лопатки определяем исходя из эмпирической зависимости

$$L_l = 0,8 \frac{d_p}{2} . \quad (3.5)$$

Диаметр ротора без учета длины лопатки определяется по формуле

$$d_0 = d_p - 2 \cdot L_l . \quad (3.6)$$

Уточняем действительную скорость перемещения машины по формуле

$$v_m = \frac{\Pi m}{3600 \cdot Sk} . \quad (3.7)$$

Определяем окружную скорость ротора по формуле

$$v_o = \sqrt{x \frac{d_p}{2} \cdot g} , \quad (3.8)$$

где  $x$  – опытный коэффициент,  $x = 0,5$ ;

$g$  – гравитационное ускорение.

Угловая скорость ротора определяется по формуле

$$\omega_p = \frac{2 \cdot v_o}{d_p} . \quad (3.9)$$

Частота вращения ротора определяется по формуле

$$n_p = \frac{30 \cdot \omega_p}{\pi} . \quad (3.10)$$

Подача на один нож определяется по формуле

$$\delta = \frac{10 \cdot v_m}{n_p \cdot z_n}, \quad (3.11)$$

где  $z_n$  – число ножей в каждом ряду.

Длина дуги контакта рабочего органа с грунтом принимается исходя из погружения фрезы в канал на  $2/3$

$$L_o = \frac{\pi \cdot d_p \cdot 270}{360}. \quad (3.12)$$

Мощность, затрачиваемая на копание грунта, определяется по формуле

$$N_k = \frac{k1 \cdot \Pi_m}{3600}. \quad (3.13)$$

Мощность, затрачиваемая на разгон грунта, определяется по формуле

$$N_p = \frac{\Pi_m \cdot \rho \cdot v_o}{7,2 \cdot 10^6}, \quad (3.14)$$

где  $\rho$  – плотность грунта.

Мощность, затрачиваемая на подъем грунта, определяется по формуле

$$N_n = \frac{\Pi_m \cdot \gamma \cdot h_{cp}}{3,6 \cdot 10^6}, \quad (3.15)$$

где  $\gamma$  – удельный вес грунта;

$h_{cp}$  – средняя высота подъема грунта,

$$h_{cp} = \frac{3 \cdot (d_p + d_0)}{2 \cdot \sin(\alpha)}. \quad (3.16)$$

Мощность на трение грунта по поверхности забоя определяется по формуле

$$N_{mp} = \frac{\gamma \cdot f_z \cdot r_o \cdot \Pi m}{3,6 \cdot 10^6 \cdot g(1 - \cos(\alpha_\kappa))} \times$$

$$\times \left[ n_p^2 \left( r_o - \frac{L_n}{2} \right) a \left[ \alpha_\kappa \cdot \sin(\alpha_\kappa) - \frac{\alpha_\kappa}{2} - \frac{\sin(2 \cdot \alpha_\kappa)}{4} + \right. \right. \\ \left. \left. + (1 - a) \cdot (1 - \cos(\alpha_\kappa)) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left[ n_p^2 \left( r_o - \frac{L_n}{2} \right) \cdot \alpha_\kappa + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + g \cdot \sin(\alpha_o) \cdot \sin(\alpha_\kappa) \right] \right] \right], \quad (3.17)$$

где  $f_z$  – коэффициент трения грунта по грунту;

$r_o$  – радиус ротора по лопаткам;

$\alpha_\kappa$  – угол контакта фрезы с забоем,

$$\alpha_\kappa = \arcsin \left( \sin \left( \frac{Hk}{\sin(\alpha)} - r_o \right) \right). \quad (3.18)$$

Мощность, расходуемая на сопротивление перемещению машины, определяется по формуле

$$N_m = Gm \cdot k_c \cdot v_m, \quad (3.19)$$

где  $k_c$  – коэффициент сопротивления перемещению.

Мощность двигателя определяется по формуле

$$N_{дв} = \frac{N_\kappa + N_p + N_n + N_m}{\eta}, \quad (3.20)$$

где  $\eta$  – КПД трансмиссии.

### 3.4 Варианты для индивидуальных заданий

Таблица 3.1 – Варианты для индивидуальных заданий

Номер варианта	Наименование параметра			
	Глубина канала, м	Ширина канала по дну, м	Угол заложения откосов, град	Скорость движения трактора, м/с
1	0,5	1,5	20	0,1
2	0,6	1,4	25	0,2
3	0,7	1,3	30	0,3
4	0,8	1,2	35	0,4
5	0,9	1,1	40	0,5
6	1,0	1,0	45	0,6
7	1,1	0,9	50	0,7
8	1,2	0,8	55	0,8
9	1,3	0,7	40	0,9
10	1,4	0,6	45	1,0

#### Пример решения задачи.

Исходные данные:

- глубина канала  $Hk = 2$  м;
- ширина канала по дну  $b_d = 0,5$  м;
- угол заложения откосов  $\alpha_o = 30$  град;
- скорость движения трактора  $v_m = 0,2$  м/с.
- удельное сопротивление копанию грунта  $k_1 = 80$  кПа;
- плотность грунта  $\rho = 1600$  кг/м<sup>3</sup>;
- вес машины  $Gm = 150$ кН;
- коэффициент сопротивления перемещению машины  $k_c = 0,09$ ;
- КПД трансмиссии  $\eta = 0,87$ .

*Решение*

Определяем площадь поперечного сечения канала по формуле (3.1):

$$Sk = 2(\cotan(30) \cdot 2 + 0,5) = 7,928 \text{ м.}$$

Диаметр ротора определяем по формуле (3.2):

$$d_p = \frac{0,5 \left( \frac{1}{\cos\left(\frac{\pi}{1} - 0,524\right)} - \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - 0,524\right) \cdot \cos(0,524) \right)}{1 - \cos(0,524)} = 0,933 \text{ м.}$$

Проектную производительность определяем по формуле (3.3):

$$Pm = 3600 \cdot 7,928 \cdot 0,2 = 5,708 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Максимальную ширину лопадки определяем по формуле (3.4):

$$b_l = \frac{40 + 2,35 \cdot 5,708 \cdot 10^3}{1000} = 13,455 \text{ м}.$$

Из конструктивных соображений принимаем ширину лопадки  $b_l = 0,2$  м. Определяем длину лопадки по формуле (3.5):

$$L_l = 0,8 \frac{0,923}{2} = 0,373 \text{ м}.$$

Определяем диаметр ротора без учета длины лопадки по формуле (3.6):

$$d_0 = d_p - 2 \cdot 0,373 = 0,187 \text{ м}.$$

Уточняем действительную скорость перемещения машины по формуле (3.7):

$$v_m = \frac{5,708 \cdot 10^3}{3600 \cdot 7,928} = 0,2 \text{ м/с}.$$

Определяем окружную скорость ротора по формуле (3.8):

$$v_o = \sqrt{0,5 \frac{0,933}{2} \cdot 9,81} = 1,513 \text{ м/с}.$$

Угловая скорость ротора определяется по формуле (3.9):

$$\omega_p = \frac{2 \cdot 1,513}{0,933} = 3,243 \text{ рад/с}.$$

Частота вращения ротора определяется по формуле (3.10):

$$n_p = \frac{30 \cdot 3,243}{3,14} = 30,964 \text{ мин}^{-1}.$$

Рассчитываем подачу на один нож по формуле (3.11):

$$\delta = \frac{10 \cdot 0,2}{30,964 \cdot 12} = 0,323 \text{ м,}$$

где  $z_n$  – число ножей в каждом ряду,  $z_n = 12$ .

Определяем длину дуги контакта рабочего органа с грунтом по зависимости (3.12):

$$L_\delta = \frac{3,14 \cdot 0,933 \cdot 270}{360} = 2,198 \text{ м.}$$

Мощность, затрачиваемую на копание грунта, определяем по формуле (3.13):

$$N_\kappa = \frac{80 \cdot 5,708 \cdot 10^3}{3600} = 126,851 \text{ кВт.}$$

Мощность, затрачиваемую на разгон грунта, определяем по формуле (3.14):

$$N_p = \frac{5,708 \cdot 10^3 \cdot 1600 \cdot 1,513}{7,2 \cdot 10^6} = 2,903 \text{ кВт.}$$

Определяем удельный вес грунта по формуле

$$\gamma = \rho \cdot g .$$

Удельный вес грунта

$$\gamma = 1600 \cdot 9,81 = 1,57 \cdot 10^4 .$$

Среднюю высоту подъема грунта определяем по формуле (3.16):

$$h_{cp} = \frac{3 \cdot (0,933 + 0,187)}{2 \cdot \sin(30)} = 3,359 \text{ м.}$$

Мощность, затрачиваемую на подъем грунта, определяем по формуле (3.17):

$$N_n = \frac{5,108 \cdot 10^3 \cdot 1,57 \cdot 10^4 \cdot 3,359}{2 \cdot \sin(30)} = 83,596 \text{ кВт.}$$

Угол контакта фрезы с забоем определяется по формуле (3.18):

$$\alpha_{\kappa} = \arcsin \left( \sin \left( \frac{\frac{2}{\sin(30)} - 0,467}{0,767} \right) \right) = 1,291 \text{ рад.}$$

Мощность, расходуемая трение грунта по поверхности забоя, определяется по формуле (3.17):

$$N_{mp} = \frac{1,57 \cdot 0,3 \cdot 0,467 \cdot 5,708 \cdot 10^3}{3,6 \cdot 10^6 \cdot 9,81(1 - \cos(30))} \times$$

$$\times \left[ 0,516^2 \left( 0,467 - \frac{0,373}{2} \right) 0,086 \left[ \begin{aligned} & 1,291 \cdot \sin(1,291) - \frac{1,291}{2} - \frac{\sin(2 \cdot 1,291)}{4} + \\ & + (1 - 0,86) \cdot (1 - \cos(1,291)) \times \\ & \times \left[ \begin{aligned} & 0,516^2 \left( 0,467 - \frac{0,373}{2} \right) \cdot 1,291 + \\ & + 9,81 \cdot \sin(30) \cdot \sin(1,291) \end{aligned} \right] \end{aligned} \right] \right] = 0,019 \text{ кВт.}$$

При этом площадь поперечного сечения канала, разрабатываемого непосредственно фрезой, определяется по формуле

$$Sp = \pi \frac{d^2}{4}.$$

Площадь поперечного сечения канала, разрабатываемого непосредственно фрезой,

$$Sp = 3,14 \frac{0,933^2}{4} = 0,086 \text{ м}^2.$$

Отношение площади, разрабатываемой фрезой, к площади канала определяется по формуле

$$a = \frac{Sp}{Sk}.$$

Отношение площади, разрабатываемой фрезой, к площади канала

$$a = \frac{0,684}{7,928} = 0,086.$$

Мощность, расходуемая на сопротивление перемещению машины, определяется по формуле (3.19):

$$N_m = 150 \cdot 0,09 \cdot 0,2 = 2,7 \text{ кВт.}$$

Мощность двигателя определяется по формуле (3.20):

$$N_{\text{дв}} = \frac{126,851 + 2,903 + 83,596 + 0,019}{0,87} = 248,355 \text{ кВт.}$$

## **4 Практическое занятие № 4. Определение основных параметров и мощности двигателя для каналокопателя продольного копания**

### **Цель работы:**

- 1) изучение методики расчета основных параметров и мощности двигателя для продольного копания;
- 2) освоение методики расчета параметров и мощности двигателя для каналокопателя продольного копания.

### **4.1 Порядок выполнения работы**

- 1 Изучить теоретические сведения.
- 2 Выполнить расчет основных параметров и мощности двигателя для продольного копания.
- 3 Построить графики в соответствии с индивидуальным заданием.
- 4 Проанализировать зависимость мощности от выбранных параметров.

### **4.2 Содержание отчета**

Расчет основных параметров и мощности двигателя для продольного копания в соответствии с таблицей 4.1.

### **4.3 Теоретические сведения**

Расчет основных параметров рабочего оборудования и мощности двигателя экскаватора продольного копания производится по методике, изложенной далее.



Скорость трактора зависит от требуемой производительности экскаватора и определяется по формуле

$$v_m = \frac{Pm}{3600 \cdot b_m \cdot H_m}, \quad (4.1)$$

где  $Pm$  – производительность экскаватора;

$b_m$  – ширина траншеи;

$H_m$  – глубина траншеи.

Угол наклона вектора абсолютной скорости цепи к горизонту определяется по формуле

$$\beta_y = \arctan \left( \frac{v_y (\sin(\alpha_y))}{v_y \cdot \cos(\alpha_y) + v_m} \right), \quad (4.2)$$

где  $\alpha_y$  – угол наклона рабочей цепи к горизонту;

$v_y$  – скорость рабочей цепи.

Усилие копания одним скребком определяется по формуле

$$F_c = 9,81 \cdot Cуд \cdot \delta^{1,35} \cdot (1 + 0,1 \cdot \delta_H) \left( 1 - \frac{\pi/2 - \psi}{\pi} \right) \cdot e_n, \quad (4.3)$$

где  $Cуд$  – число ударов плотномера ДорНИИ;

$\delta$  – толщина стружки,  $\delta = b_m/15$ ;

$\delta_n$  – толщина ножа,  $\delta_n = 0,5 \dots 1$  см;

$\psi$  – угол резания ножа,  $\psi = 43^\circ \dots 57^\circ$ ,

$e_n$  – коэффициент, учитывающий угол заострения ножа, для машин с новыми ножами  $e_n = 1$ .

Количество скребков, находящихся в контакте с грунтом, определяется по формуле

$$z_c = \frac{H_m}{\sin(\alpha_y) \cdot i_c}, \quad (4.4)$$

где  $i_c$  – шаг скребков.

Усилие копания грунта всеми скребками определяется по формуле

$$Fk = F_c \cdot z_c. \quad (4.5)$$

Мощность, затрачиваемая на копание грунта, определяется по формуле

$$Nk = Fk \cdot v_y. \quad (4.6)$$

Определяем среднюю высоту выгрузки грунта по формуле

$$H_o = i_c \cdot \sin(\beta_u). \quad (4.7)$$

Мощность на подъем грунта определяется по формуле

$$N_{под} = \frac{\Pi m \cdot \gamma \left( \frac{H_m}{2} + H_o \right) \cdot k_3}{3600}, \quad (4.8)$$

где  $k_3$  – коэффициент, учитывающий возможное защемление частиц грунта между скребками и боковыми поверхностями траншеи;

$\gamma$  – удельный вес грунта.

Мощность, расходуемая на трение транспортируемого грунта о грунт забоя, определяется по формуле

$$N_{тр} = \frac{\Pi m \cdot \gamma \cdot \left( \frac{H_m}{2} + H_o \right) \cdot f_2 \cdot \cotan(\beta_u)}{3600}, \quad (4.9)$$

где  $f_2$  – коэффициент трения грунта по грунту.

Мощность, расходуемая на перемещение грунта в сторону шнеками, определяется по формуле

$$N_{шн} = \frac{C_o \cdot \Pi m \cdot \gamma \cdot l_{\delta}}{3600}, \quad (4.10)$$

где  $C_o$  – коэффициент сопротивления, определяемый опытным путем;

$l_{\delta}$  – максимальное расстояние перемещения материала в сторону от бровки.

Мощность, расходуемая на привод вспомогательных механизмов, определяется по формуле

$$N_{вс} = \frac{N_k + N_{под} + N_{тр} + N_{шн}}{V_u}. \quad (4.11)$$

Суммарная мощность на привод механизмов определяется по формуле

$$N_c = N_k + N_{под} + N_{тр} + N_{шн} + N_{вс}.$$

#### 4.4 Варианты для индивидуальных заданий

Таблица 4.1 – Варианты для индивидуальных заданий

Номер варианта	Наименование параметра			
	глубина канала, м	Ширина канала по дну, м	Угол наклона рабочей цепи к горизонту	Скорость рабочей цепи, м/с
1	0,5	1,5	20	2,0
2	0,6	1,4	25	2,1
3	0,7	1,3	30	2,2
4	0,8	1,2	35	2,3
5	0,9	1,1	40	2,4
6	1,0	1,0	45	2,5
7	1,1	0,9	50	2,6
8	1,2	0,8	55	2,7
9	1,3	0,7	40	2,8
10	1,4	0,6	45	2,9

#### Пример решения задачи.

Исходные данные:

- производительность экскаватора  $Pm = 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- глубина канала  $Hk = 2 \text{ м}$ ;
- ширина канала по дну  $b_d = 0,5 \text{ м}$ ;
- угол наклона рабочей цепи к горизонту  $\alpha_u = 50 \text{ град}$ ;
- скорость рабочей цепи  $v_u = 2 \text{ м/с}$ ;
- число ударов плотномера ДорНИИ  $Cy_d = 10$ ;
- угол заложения откосов  $\alpha_o = 30 \text{ град}$ ;
- скорость движения трактора  $v_m = 0,2 \text{ м/с}$ ;
- удельное сопротивление копанию грунта  $k1 = 80 \text{ кПа}$ ;
- плотность грунта  $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ ;
- вес машины  $Gm = 150 \text{ кН}$ ;
- коэффициент сопротивления перемещению машины  $k_c = 0,09$ ;
- КПД трансмиссии  $\eta = 0,87$ .

*Решение*

Скорость трактора определяем по формуле (4.1):

$$v_m = \frac{1500}{3600 \cdot 0,5 \cdot 2} = 0,417 \text{ м/с.}$$

Угол наклона вектора абсолютной скорости цепи к горизонту определяем по формуле (4.2):

$$\beta_u = \arctg\left(\frac{2 \cdot (\sin(0,873))}{2 \cdot \cos(0,873) + 0,417}\right) = 0,733 \text{ рад.}$$

Толщину стружки определим как  $\delta = b_m / 15 = 0,033 \text{ м.}$

Толщину ножа принимаем  $\delta_n = 1 \text{ см.}$

Угол резания ножа принимаем  $\psi = 50^\circ.$

Усилие копания одним скребком определяется по формуле (4.3):

$$F_c = 9,81 \cdot 10 \cdot 1^{1,35} \cdot (1 + 0,1 \cdot 0,033) \left(1 - \frac{3,14 / 2 - 0,873}{3,14}\right) \cdot 1 = 1,387 \text{ кН.}$$

Принимаем шаг скребков  $i_c = 0,7 \text{ м.}$

Количество скребков, находящихся в контакте с грунтом, определяем по формуле (4.5):

$$z_c = \frac{2}{\sin(0,873) \cdot 0,7} = 3,73 \text{ шт.}$$

Усилие копания грунта всеми скребками определяем по формуле (4.5):

$$Fk = 1,387 \cdot 3,73 = 5,172 \text{ кН.}$$

Мощность, затрачиваемая на копание грунта, определяется по формуле (4.6):

$$Nk = 1,387 \cdot 2 = 5,172 \text{ кН.}$$

Определяем среднюю высоту выгрузки грунта по формуле (4.5):

$$H_o = 0,7 \cdot \sin(0,733) = 0,468 \text{ м.}$$

Принимаем коэффициент, учитывающий возможное защемление частиц грунта между скребками и боковыми поверхностями траншеи,  $k_z = 1,2.$

Мощность на подъем грунта определяется по формуле (4.6):

$$N_{под} = \frac{1500 \cdot 16 \left(\frac{2}{2} + 0,468\right) \cdot 1,2}{3600} = 11,746 \text{ кВт.}$$

## Список литературы

1 **Абдразаков, Ф. К.** Мелиоративные, строительные и дорожные машины: учебное пособие / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2003. – 124 с.

2 **Абдразаков, Ф. К.** Оптимизация парка землеройных машин для проведения строительных и эксплуатационных работ на мелиоративных системах / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2005. – 144 с.

3 Геометрия и графика. – Москва: ИНФРА-М, 2015. – Т. 3, вып. 2.

4 **Абдразаков, Ф. К.** Машины для прокладки и содержания каналов: учебное пособие / Ф. К. Абдразаков. – Саратов: Саратов. с.-х. акад., 1997. – 184 с.