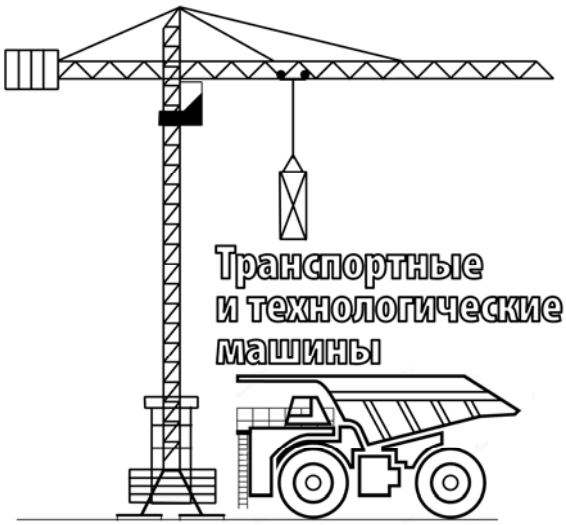
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАШИНЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Методические рекомендации к практическим занятиям для студентов специальности 1-36 80 02 «Инновационные технологии в машиностроении» очной и заочной форм обучения



Могилев 2021

УДК 621.879:69
ББК 39.9:38
МС71

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой ТТМ «28» декабря 2020 г., протокол № 5

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

Рецензент канд. техн. наук П. П. Прудников

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены для студентов специальности 1-36 80 02 «Инновационные технологии в машиностроении» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАШИНЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

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, 2021

Содержание

Введение 4
1 Практическое занятие № 1. Определение мощности двигателя для каналокопателя двухроторного с осью вращения, перпендикулярной откосу 5
2 Практическое занятие № 2. Определение основных параметров и мощности двигателя для каналокопателя продольного копания 12
3 Практическое занятие № 3. Определение основных параметров вибрационных машин 17
4 Практическое занятие № 4. Определение основных параметров сваебойного оборудования 25
5 Практическое занятие № 5. Ограничение колебаний груза, перемещаемого мостовыми кранами 32
Список литературы 36

Введение

Машины для специальных работ в строительстве предназначены для механизации строительных работ, при которых невозможно применение машин для земляных работ, строительных и дорожных машин и других, выпускаемых большими сериями на предприятиях с массовым производством. К специальным строительным работам можно отнести землерезные работы, работы по прокладке коммуникаций, проходческие работы, работы по разрушению строительных конструкций, современные технологии уплотнения материалов, свайные работы, работы в обводненных грунтах, подводные работы.

Целью учебной дисциплины является формирование компетенций в области назначения, принципов действия, теории и расчета машин для специальных строительных работ.

Целью рекомендаций для практических занятий является приобретение студентами умений и навыков по расчету и выбору основных параметров машин для специальных строительных работ и их рабочего оборудования.

Все отчёты выполняются с помощью специализированного программного обеспечения для математических расчетов и оформляются в виде отдельных файлов. В начале каждого файла указывается учебное заведение, кафедра, дисциплина, фамилия и инициалы студента, год оформления отчета.

Отчет содержит название, цель работы, исходные данные к расчету, ход решения задач с обязательной расшифровкой принятых обозначений, необходимые пояснения к задаче. После проведения расчетов проводится анализ результатов и дается заключение. Расчеты проводятся с помощью программных приложений для математических вычислений, в них же осуществляется построение графиков.

До выполнения практической работы студент самостоятельно изучает методические рекомендации к ней, используя рекомендуемую литературу и материалы лекций.

После завершения практической работы студент индивидуально защищает ее у преподавателя. При защите отчета оцениваются качество и полнота его содержания, знания, умения и навыки студента, приобретенные во время выполнения работы.

1 Практическое занятие № 1. Определение мощности двигателя для каналокопателя двухроторного с осью вращения, перпендикулярной откосу

Цель работы: изучение и освоение методики расчета мощности двигателя двухроторного каналокопателя.

1.1 Порядок выполнения работы

1 Изучить теоретические сведения.
2 Выполнить расчет мощности двигателя двухроторного каналокопателя в соответствии с индивидуальным заданием (таблица 1.1).
3 Построить графики в соответствии с индивидуальным заданием.
4 Проанализировать зависимость мощности от выбранных параметров.

1.2 Содержание отчета

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

1.3 Теоретические сведения

При работах больших масштабов по созданию ложей каналов, широких углублений в грунте, котлованов под фундаменты, на горных разработках открытого типа, на вскрышных работах при сооружении карьеров для добычи рудных материалов применение ЗФМ гораздо более предпочтительное по сравнению с другими землеройными машинами.

Главным рабочим органом является многорезцовая фреза, представляющая собой полый барабан, содержащий несущий вал с установленными на нём перпендикулярно к оси вала жёсткими кронштейнами, на которых установлены резцы с наплавленной износостойкой поверхностью. Кронштейны с резцами образуют диаметр фрезы и могут быть установлены на несущем валу по винтовым линиям, расходящимся от средней части вала, что обеспечивает цикличность работы каждого резца, минимальные энергозатраты при фрезеровании грунта, высокую плоскостность обрабатываемой поверхности, смещение срезанного грунта к краям обрабатываемого канала.

Одно- и двухроторные каналокопатели относят к землеройным и землеройно-транспортным машинам.

Мощность двигателя двухроторного каналокопателя определяется по формуле

$$N_{дв} = \frac{Nk + Np + Nn + Nmp + Nn}{\eta}, \qquad (1.1)$$

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;
η – КПД трансмиссии.

Мощность, затрачиваемая на копание грунта, определяется по формуле

$$Nk = \frac{k1 \cdot Пт}{3600}, \tag{1.2}$$

где $k1$ – удельное сопротивление копанию грунта, Па;
$Пт$ – производительность каналокопателя, вычисляется по формуле

$$Пт = 3600 \cdot Sk \cdot Vt, \tag{1.3}$$

где Sk – площадь поперечного сечения канала, м^2;
Vt – скорость движения трактора, м/с.

Площадь поперечного сечения канала определяется по формуле

$$Sk = Hk(\mathrm{ctg}(\alpha) \cdot Hk + b_д), \tag{1.4}$$

где Hk – глубина канала, м;
α – угол заложения откосов канала, рад;
$b_д$ – ширина канала по дну, м.

Мощность на разгон грунта определяется по формуле

$$Np = \frac{Пт \cdot \rho \cdot Vo}{7,2 \cdot 10^6}, \tag{1.5}$$

где ρ – плотность грунта, кг/м^3;
Vo – окружная скорость ротора, м/с.

Окружная скорость ротора определяется по формуле

$$Vo = \sqrt{x \frac{dp \cdot g}{2}}, \tag{1.6}$$

где x – опытный коэффициент, x = 0,5;
dp – диаметр ротора, м;
g – гравитационное ускорение.

Диаметр ротора определяется по формуле

$$dp = \frac{4\left(Hk + \sqrt{\frac{kp \cdot Sk}{2 \cdot \cot(\varphi_г)}}\right) - \frac{Hk}{0,5} \cdot \sin(\alpha)}{6 \cdot \sin(\alpha)}, \qquad (1.7)$$

где kp – коэффициент разрыхления грунта;

$\varphi_г$ – угол естественного откоса насыпного грунта.

Мощность на подъем грунта определяется по формуле

$$Nn = \frac{Пт \cdot \gamma \cdot hcp}{3,6 \cdot 10^6}, \qquad (1.8)$$

где hcp – средняя высота подъема грунта, вычисляется по формуле

$$hcp = \frac{3 \cdot dp + d_0}{4} \sin(\alpha), \qquad (1.9)$$

где d_0 – диаметр ротора без учета высоты зубьев, находится по формуле

$$d_0 = dp - 2 \cdot Hz, \qquad (1.10)$$

где Hz – высота зубьев.

Мощность на трение грунта по поверхности забоя определяется по формуле

$$Nтр = \frac{\gamma \cdot \varphi_г \cdot r_r \cdot Пт}{3,6 \cdot 10^6 \cdot g \cdot \cos(\alpha_{кн})} \times$$

$$\times \left[n_p^2 \left(r_r - \frac{Hz}{2} \right) \cdot a \cdot \left[\begin{array}{l} \alpha_{кн} \cdot \sin(\alpha_{кн}) \cdot \left(\sin(\alpha_{кн} - \frac{\alpha_{кн}}{2} - \frac{\sin(\alpha_{кн})}{4} \right) + \\ +(1-a)(1-\cos(\alpha_{кн})) \left[n_P^2 \left(r_r - \frac{Hz}{2} \right) \alpha_{кн} + g \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\alpha_{кн}) \right] \end{array} \right] \right], \qquad (1.11)$$

где r_r – радиус ротора по лопаткам, м;

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

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

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

Угол контакта фрезы с забоем определяется по формуле

$$\alpha_{кн} = \arcsin\left(\sin\left(\frac{\frac{Hk}{\sin(\alpha)} - r_r}{r_r}\right)\right). \qquad (1.12)$$

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

$$a = \frac{Sp}{Sk}\ , \qquad (1.13)$$

где Sp – площадь поперечного сечения канала, разрабатываемого непосредственно фрезой, м^2; вычисляется по формуле

$$Sp = bp\frac{Hk}{\sin(\alpha)}, \qquad (1.14)$$

где bp – ширина ротора.

Предварительная ширина ротора определяется по формуле

$$bp_n = \frac{Пт}{3600(dp^2 - d_0^2)\frac{\pi}{4} \cdot n_p \cdot k_н \cdot i_p}, \qquad (1.15)$$

где $k_н$ – коэффициент заполнения рабочего пространства;

i_p – количество роторов, размещенных в канале.

Мощность на сопротивление перемещению определяется по формуле

$$N_n = к_c \cdot G_м \cdot v_м, \qquad (1.16)$$

где $G_м$ – вес машины, кН;

$к_c$ – коэффициент сопротивления перемещению машины, принимаем $к_c = 0{,}09$.

Суммарная мощность двигателя определяется по формуле

$$Nдв = \frac{Nk + Np + Nn + Nmp + Nm}{\eta}, \qquad (1.17)$$

где η – КПД трансмиссии.

1.4 Варианты для индивидуальных заданий

Таблица 1.1 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Наименование параметра	
	Глубина канала, м	Ширина канала по дну, м
1	0,5	1,5
2	0,6	1,4
3	0,7	1,3
4	0,8	1,2
5	0,9	1,1
6	1,0	1,0
7	1,1	0,9
8	1,2	0,8
9	1,3	0,7
10	1,4	0,6

Пример решения задачи

Исходные данные:
– глубина канала Hk = 2 м;
– ширина канала по дну $b_д$ = 0,5 м;
– плотность грунта ρ = 1700 кг/м^3;
– коэффициент разрыхления грунта kp = 1,3;
– угол естественного откоса насыпного грунта $\varphi_г$ = 30 град;
– удельное сопротивление копанию грунта $k1$ – 80 кПа;
– количество роторов, размещенных в канале $i_р$ = 2;
– коэффициент сопротивления перемещению машины $к_с$ = 0,09;
– скорость движения трактора $v_м$ = 0,2 м/с;
– КПД трансмиссии η = 0,87.

Решение

Площадь поперечного сечения канала определяем по формуле (1.4):

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

Производительность каналокопателя определяется по формуле (1.3):

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

Мощность, затрачиваемая на сопротивление копанию грунта, определяется по формуле (1.2):

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

Диаметр ротора определяем по формуле (1.7):

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

Окружную скорость ротора определяем по формуле (1.6):

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

Мощность на разгон грунта определяется по формуле (1.5):

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

Средняя высота подъема грунта определяется по формуле (1.9):

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

Мощность на подъем грунта определяем по формуле (1.8):

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

Определяем угол контакта фрезы с забоем по формуле (1.12):

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

Мощность на трение грунта по поверхности забоя определяется по формуле (1.11):

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

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

Мощность на сопротивление перемещению определяется по формуле (1.15):

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

Суммарная мощность двигателя определяется по формуле (1.16):

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

Контрольные вопросы

1 Как определить мощность двигателя двухроторного каналокопателя?

2 Как определить мощность, затрачиваемую на копание грунта двухроторным каналокопателем?

3 Как определить производительность двухроторного каналокопателя?

4 Как определить мощность, затрачиваемую на разгон грунта при работе двухроторного каналокопателя?

5 От каких параметров зависит диаметр ротора двухроторного каналокопателя?

2 Практическое занятие № 2. Определение основных параметров и мощности двигателя для каналокопателя продольного копания

Цель работы: изучение и освоение методики расчета основных параметров и мощности двигателя для продольного копания.

2.1 Порядок выполнения работы

1 Изучить теоретические сведения.

2 Выполнить расчет основных параметров и мощности двигателя для продольного копания в соответствии с вариантами индивидуальных заданий (таблица 1.2).

3 Построить графики в соответствии с индивидуальным заданием.

4 Проанализировать зависимость мощности от выбранных параметров.

2.2 Содержание отчета

Расчет основных параметров и мощности двигателя для продольного копания, графики в соответствии с индивидуальным заданием, заключение.

2.3 Теоретические сведения

Для строительства, эксплуатационно-технического обслуживания кабельного хозяйства и ремонтно-восстановительных работ на кабельных линиях предназначены разнообразные инструменты и механизмы.

Для разработки траншей и котлованов в скальном и мерзлом грунте, а также для вскрытия уличных покровов и пробивки проемов и отверстий в стенах служат пневматические инструменты. В качестве источников сжатого воздуха используют передвижные воздушно–компрессорные станции (прицепные на пневмоколесном ходу). Во время монтажа кабеля для накачки его воздухом применяют компрессорные установки.

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

$$v_m = \frac{Пт}{3600 \cdot b_m \cdot H_m}, \qquad (2.1)$$

где $Пт$ – производительность экскаватора;

b_m – ширина траншеи;

H_m – глубина траншеи.

Угол наклона вектора абсолютной скорости цепи к горизонту определяется по формуле

$$\beta_ц = \mathrm{arctg}\left(\frac{v_ц(\sin(\alpha_ц))}{v_ц \cdot \cos(\alpha_ц) + v_m}\right), \qquad (2.2)$$

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

$v_ц$ – скорость рабочей цепи.

Усилие копания одним скребком определяется по формуле

$$F_c = 9{,}81 \cdot Суд \cdot \delta^{1{,}35} \cdot (1 + 0{,}1 \cdot \delta_H)\left(1 - \frac{\pi/2 - \psi}{\pi}\right) \cdot e_н, \qquad (2.3)$$

где *Суд* – число ударов плотномера ДорНИИ;

δ – толщина стружки, ориентировочно определяется как $\delta = b_m/15$;

$\delta_н$ – толщина ножа, ориентировочно рекомендуется принимать $\delta_н = 0{,}5\ldots1$ см;

ψ – угол резания ножа, рекомендуется выбирать из диапазона $\psi = 43\ldots57^o$;

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

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

$$z_c = \frac{H_m}{\sin(\alpha_ц) \cdot i_c}, \qquad (2.4)$$

где i_c – шаг скребков.

Усилие копания грунта всеми скребками определяется по формуле

$$Fk = F_c \cdot z_c. \qquad (2.5)$$

Мощность, затрачиваемая на копание грунта, определяется по формуле

$$Nk = Fk \cdot v_ц. \qquad (2.6)$$

Определяем среднюю высоту выгрузки грунта по формуле

$$Ho = i_c \cdot \sin(\beta_ц). \qquad (2.7)$$

Мощность на подъем грунта определяется по формуле

$$Nпод = \frac{Пт \cdot \gamma \left(\frac{H_т}{2} + Но \right) \cdot k_з}{3600}, \qquad (2.8)$$

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

γ – удельный вес грунта.

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

$$Nтр = \frac{Пт \cdot \gamma \cdot \left(\frac{H_т}{2} + Но \right) \cdot f_г \cdot \cot(\beta_ц)}{3600}, \qquad (2.9)$$

где $f_г$ – коэффициент трения грунта по грунту.

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

$$Nшн = \frac{C_о \cdot Пт \cdot \gamma \cdot l_б}{3600}, \qquad (2.10)$$

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

$l_б$ – максимальное расстояние перемещения материала в сторону от бровки.

Мощность, расходуемая на привод вспомогательных механизмов, определяется по формуле

$$Nвс = \frac{Nk + Nпод + Nтр + Nшн}{V_ц}. \qquad (2.11)$$

Суммарная мощность на привод механизмов определяется по формуле

$$Nс = Nk + Nпод + Nтр + Nшн + Nвс.$$

2.4 Варианты для индивидуальных заданий

Таблица 2.1 – Варианты 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 $Пт$ = 1500 м^3/ч;
– глубина канала Hk = 2 м;
– ширина канала по дну $b_д$ = 0,5 м;
– угол наклона рабочей цепи к горизонту $\alpha_ц$ = 50 град;
– скорость рабочей цепи $v_ц$ = 2 м/с;
– число ударов плотномера ДорНИИ $Суд$ = 10;
– угол заложения откосов $\alpha_о$ = 30 град;
– скорость движения трактора v_m = 0,2 м/с;
– удельное сопротивление копанию грунта $k1$ – 80 кПа;
– плотность грунта ρ = 1600 кг/м^3;
– вес машины Gm = 150кН;
– коэффициент сопротивления перемещению машины $к_c$ = 0,09;
– КПД трансмиссии η = 0,87.

Решение

Скорость трактора определяем по формуле (2.1):

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

Угол наклона вектора абсолютной скорости цепи к горизонту определяем по формуле (2.2):

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

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

Толщину ножа принимаем $\delta_н = 1$ см.

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

Усилие копания одним скребком определяется по формуле (2.3):

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

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

Количество скребков, находящихся в контакте с грунтом, определяем по формуле (2.4):

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

Усилие копания грунта всеми скребками определяем по формуле (2.5):

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

Мощность, затрачиваемая на копание грунта, определяется по формуле (2.6):

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

Определяем среднюю высоту выгрузки грунта по формуле (2.7):

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

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

Мощность на подъем грунта определяется по формуле (2.8):

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

Контрольные вопросы

1 Как определить скорость экскаватора продольного копания?

2 Как определить усилие сопротивления копанию одного скребка экскаватора продольного копания?

3 От каких параметров зависит количество скребков, находящихся в контакте с грунтом?

4 Как определить мощность, затрачиваемую на копание при работе экскаватора продольного копания?

5 Как определить мощность, затрачиваемую на подъем грунта при работе экскаватора продольного копания?

3 Практическое занятие № 3. Определение основных параметров вибрационных машин

Цель работы: изучение и освоение методики определения основных параметров и мощности вибрационных машин.

3.1 Порядок выполнения работы

1 Изучить теоретические сведения.

2 Выполнить расчет основных параметров и мощности двигателя вибрационной машины в соответствии с вариантами индивидуальных заданий (таблица 3.2).

3 Построить графики в соответствии с индивидуальным заданием.

4 Проанализировать зависимость мощности от выбранных параметров.

3.2 Содержание отчета

Расчет основных параметров и мощности вибрационной машины.

3.3 Теоретические сведения

К основным параметрам вибрационных уплотняющих машин относятся:

– размеры рабочей площадки;

– частота колебаний;

– мощность двигателя;

– величина возмущающей силы;

– вес колеблющихся частей.

Как показывают опыты, эти параметры имеют некоторые оптимальные значения, при которых с наименьшей затратой энергии достигается наиболее эффективное уплотнение.

Оптимальные значения основных параметров вибрационных машин взаимосвязаны и зависят также от свойств и толщины слоя уплотняемого материала и требуемой плотности.

В настоящее время выбор оптимальных значений основных параметров вибрационных машин производится на основании экспериментальных данных, т. к. теоретическая разработка этого вопроса еще недостаточна.

Размеры рабочей площадки. Толщина слоя уплотняемого материала задается обычно технологическими соображениями и поэтому может служить исходной величиной для определения минимального поперечного размера площади основания вибромашины.

Из механики грунтов известно, что напряжения под жестким штампом при статической нагрузке на глубине, превышающей минимальный поперечный размер штампа, резко снижаются. Аналогичное явление имеет место и при вибрировании. Поэтому минимальный поперечный размер площади основания вибромашины должен быть больше толщины уплотняемого слоя материала:

$$B \geq h,$$

где B – ширина площадки основания (минимальный поперечный размер);

h – толщина уплотняемого слоя.

Длина площади основания выбирается из технологических соображений в зависимости, например, от ширины уплотняемой полосы.

Размер рабочей площади основания вибромашины в направлении движения ее должен быть выбран также с учетом скорости движения и необходимого времени для полного уплотнения материала:

$$B = \frac{v \cdot t}{m}, \tag{3.1}$$

где B – размер площади основания в направлении движения, м;

v – скорость движения машины, м/с;

t – общая необходимая продолжительность вибрирования для полного уплотнения материала, с;

m – количество проходов вибромашины по одному месту.

При оптимальных значениях величин возмущающей силы и веса колеблющихся частей необходимую продолжительность вибрирования можно определить по формуле

$$t = \frac{C}{n}, \tag{3.2}$$

где n – частота колебаний, мин$^{-1}$;

C – потребное число циклов нагрузки при уплотнении, для несвязных грунтов C = 5000…6000; для связных грунтов C = 1000…1500.

При определении размеров рабочей площадки вибромашины *B* вычисляется; *L* назначается из конструктивных и технологических соображений.

Наибольший эффект уплотнения при вибрировании будет в том случае, когда частота колебаний вибромашины и частота собственных колебаний объема уплотняемого материала близки по значению и, следовательно, при этом будут происходить явления резонанса.

Однако определение частоты собственных колебаний уплотняемого материала затруднительно. Поэтому частоту колебаний вибратора назначают исходя из опыта эксплуатации существующих машин. При прочих равных условиях с увеличением веса вибромашины частота ее колебаний должна уменьшаться и при увеличении площади основания ее увеличиваться.

Большинство поверхностных вибраторов вибромашин имеют следующие величины n частот колебаний в минуту: для уплотнения цементно-бетонной смеси n = 2000…4500; для несвязных грунтов n = 700…3600.

Наиболее распространено в первом случае n = 3000 мин$^{-1}$ и во втором – n = 1200…1500 мин$^{-1}$.

Сила тяжести колеблющихся частей. Правильный выбор силы тяжести колеблющихся частей вибромашины имеет весьма существенное значение. Опытами установлено, что заранее заданная плотность уплотняемого материала может быть достигнута только при соответствующем весе колеблющихся частей вибромашины. При недостаточной силе тяжести колеблющихся частей заданная плотность материала не может быть достигнута ни за счет уменьшения толщины уплотняемого слоя, ни за счет увеличения времени вибрирования.

Установлено также, что чем больше сила тяжести колеблющихся частей, тем меньше время, необходимое для уплотнения материала до заданной плотности, и тем больше может быть толщина уплотняемого слоя.

На основании экспериментальных данных при уплотнении рекомендуются следующие величины удельного статического давления q, т. е. веса колеблющихся частей вибромашины на единицу рабочей площади основания, Н/м^2:

1) для цементно-бетонных покрытий толщиной 20…25 см:
   – жесткие бетоны (осадка конуса 0,5…1 см) – 30;
   – пластичные бетоны (осадка конуса 2…3 см) – 20;
2) для песков оптимальной влажности – 300…400;
3) для несвязных грунтов – 1000…1500.

Силу тяжести колеблющихся частей вибромашины можно определить, пользуясь вышеприведенными данными, по формуле

$$G = A \cdot q\,, \tag{3.3}$$

где A – площадь рабочей площадки.

Величина возмущающей силы вибратора. Эффективность уплотнения будет тем больше, чем больше величина амплитуды колебаний вибромашины, а следовательно, и частиц уплотняемого материала. Однако при больших значениях амплитуды колебаний и соответствующих им значениях

возмущающей силы площадка вибромашины может оторваться от поверхности уплотняемого материала. При этом происходит снижение эффективности уплотнения, т. к. при возвратном движении вибромашины вниз удар вибромашины о поверхность уплотняемого материала произойдет с импульсом незначительной величины, а работа машины будет неустойчивой.

Таким образом, величины возмущающей силы и амплитуды колебаний имеют оптимальные значения, которые характеризуются такими их максимальными величинами, при которых еще не происходит отрыва площадки вибромашины от поверхности уплотняемого грунта.

Оптимальные значения возмущающей силы и амплитуды колебаний зависят от свойств уплотняемого материала. По исследованиям канд. техн. наук Н. Я. Хархуты по грунтам и цементно-бетонным смесям и канд. техн. наук М. П. Зубанова по асфальтобетонным смесям оптимальные значения амплитуд колебаний при уплотнении можно принимать, мм:

– для несвязных грунтов – 0,3…0,4;

– для цементно-бетонных смесей – 0,4…0,5;

– для асфальтобетонных смесей – 0,4…0,7.

Для выбора оптимальной величины возмущающей силы можно пользоваться следующими эмпирическими формулами:

– для уплотнения асфальтобетонных смесей и несвязных грунтов

$$P = k \cdot G_в, \tag{3.4}$$

где $G_в$ – сила тяжести вибратора;

– для уплотнения цементно-бетонных смесей

$$P = k_2 (G_в + k_1 \frac{F}{160}). \tag{3.5}$$

Значения коэффициентов k, k_1 и k_2 приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Значения коэффициентов k, k_1 и k_2

Частота колебаний в минуту	Коэффициент					
	k		k_1	k_2	k_1	k_2
	для асфальто-бетонных смесей	для несвязных грунтов	для цементно-бетонных смесей при водоцементном отношении			
			0,5 и выше		0,45…0,47	
1800 … 3000	2	1,1…1,4	11	0,5…0,7	15	0,7…0,9
3000 … 5000	2	1,5…2,3	11	0,7…1,0	15	1,0…1,4

Вес дебалансов и величина кинетического момента. Возмущающая сила дебалансов вибратора

$$P = \frac{G_в \cdot \pi^2 n^2 r}{g \cdot 900} \approx \frac{G \cdot n^2 r}{90000}, \qquad (3.6)$$

где n – число оборотов вала дебалансов, мин$^{-1}$.

Требуемая сила тяжести дебалансов

$$G \approx \frac{90000 \cdot P}{r \cdot n^2}, \qquad (3.7)$$

где r – радиус дебаланса.

Мощность двигателя. Энергия при работе вибромашины на одном месте затрачивается на поддержание колебаний самой вибромашины и частиц уплотняемого материала, на перемещение частиц внутри уплотняемого материала и на преодоление трения в механизмах вибратора.

При движении вибромашины по поверхности уплотняемого материала не за счет возмущающей силы вибратора (брусья финишеров и др.) мощность расходуется также на преодоление сопротивлений при таком перемещении.

При работе вибромашины на месте необходимую мощность двигателя можно принимать (при оптимальных параметрах вибромашины) из расчета:

1) при уплотнении цементно-бетонных смесей – 1,2…1,8 л. с. на 1 м^2 площади основания вибромашины при q = 20…30 Н/м^2;

2) при уплотнении несвязных грунтов – 3…5 кВт на 1 т веса вибратора;

3) по теоретической формуле

$$N = \frac{a^2 \omega^2 f_1}{2 \cdot 75 \cdot 100 \eta_в}, \qquad (3.8)$$

где a – амплитуда колебаний, см;

f_1 – коэффициент сопротивления, зависящий от размера рабочей площадки основания удельного сопротивления; f_0 – для площадки в 1 м^2. По М. П. Зубанову, f_1 = 82 кг·с/м для асфальтобетонных и f_1 = 40/60 кг·с/м для жестких цементно-бетонных смесей;

$\eta_в$ – КПД вибратора, $\eta_в$ = 0,7 … 0,8.

При движении вибромашины по поверхности уплотняемого материала мощность расходуется на преодоление сопротивлений при перемещении самой вибромашины, на преодоление сопротивлений при перемещении призмы материала, которая скапливается перед вибромашиной, и на преодоление уклонов.

Сопротивление перемещению вибромашины силой тяжести G по поверхности уплотняемого материала с преодолением уклона

$$W_1 = G(\mu_1 + i), \qquad (3.9)$$

где μ_1 – коэффициент трения между рабочей поверхностью вибромашины и

уплотняемым материалом, при стальной рабочей поверхности вибромашины значения μ_1 следующие:

– для асфальтобетонных покрытий – 0,615;

– для несвязных грунтов – 0,5;

i – продольный уклон дороги.

Сопротивление при перемещении призмы материала

$$W_2 = G_1 \mu_2, \tag{3.10}$$

где G_1 – сила тяжести призмы материала;

μ_2 – коэффициент трения материала по материалу, μ_2 = 1,2 для цементно-бетонных смесей (по Ф. М. Юделеву); μ_2 = 0,6…0,8 для несвязных грунтов.

Мощность, затрачиваемая на движение вибромашины,

$$N_1 = \frac{(W_1 + W_2)v}{75\eta_в}, \tag{3.11}$$

где v – скорость движения вибромашины, м/с;

$\eta_в$ – КПД вибратора.

3.4 Варианты для индивидуальных заданий

Таблица 3.2 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Наименование параметра		
	Толщина уплотняемого материала , м	Скорость движения машины, м/с	Тип грунта
1	0,2	0,5	Связный
2	0,3	0,6	Несвязный
3	0,4	0,7	Связный
4	0,5	0,8	Несвязный
5	0,2	0,9	Связный
6	0,3	1	Несвязный
7	0,4	1,2	Связный
8	0,5	0,5	Несвязный
9	0,2	0,6	Связный
10	0,3	0,7	Несвязный

Пример определения основных параметров вибратора

Задание

Определить параметры и характеристики вибратора для уплотнения несвязных материалов.

Исходные данные:

– гравитационное ускорение g = 9,81 м/с^2;

– толщина уплотняемого материала h = 0,2 м;

– скорость движения машины v = 1 м/с;

– потребное число циклов нагрузки при уплотнении C = 5500;

– частота колебаний n = 3000 мин$^{-1}$.

Решение

По формуле (3.2) вычисляем продолжительность вибрирования:

$$t = \frac{5500}{3000} = 1{,}833 \text{ мин.}$$

По формуле (3.1) вычисляем ширину площадки основания:

$$B = \frac{1 \cdot 1{,}8}{5} = 0{,}37 \text{ м.}$$

В связи с тем, что ширина площадки основания должна быть больше уплотняемого слоя, принимаем ширину B = 0,5 м.

Назначаем длину площадки основания L = 0,5 м.

Принимаем для несвязных грунтов величину удельного статического давления q = 1200 Н/м^2.

Величину силы тяжести колеблющихся частей вычисляем по формуле (3.3):

$$G_в = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 1200 = 300 \text{ Н.}$$

Принимаем величину амплитуды колебаний k = 100 мм.

Величину возмущающей силы дебалансов определяем по формуле (3.6):

$$P = \frac{G_в \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot r}{g \cdot 9000} = 3 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Требуемую силу тяжести дебалансов принимаем по формуле (3.7):

$$G = \frac{90000 \cdot 6000}{0{,}1 \cdot 3000^2} = 600 \text{ Н.}$$

Величину коэффициента сопротивления, зависящую от размеров площадки и удельного сопротивления материала, принимаем f_1 = 60 Н/м^2.

Принимаем КПД вибратора $\eta_в$ = 0,86.

Вычисляем мощность на работу привода дебаланса по формуле (3.8):

$$N = \frac{20^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30}\right)^2 \cdot f_1}{2 \cdot 75 \cdot 100 \cdot 0,86} = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Вт.}$$

Принимаем значение коэффициента сопротивления перемещению вибратора для несвязных грунтов μ_1 = 0,5.

Вычисляем перемещение вибромашины силой тяжести G по поверхности уплотняемого материала с преодолением уклона по формуле (3.9):

$$W_1 = 300 \cdot 0,5 = 150 \text{ Н.}$$

Принимаем высоту призмы перемещаемого материала исходя из длины площадки вибратора: $h_{пр} = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05$ м.

Считаем, что при угле естественного откоса длина призмы волочения равна высоте.

Принимаем плотность уплотняемого материала ρ = 1500 кг/м^3.

Тогда сила тяжести призмы волочения вычисляется как

$$G_{пр} = 0,05 \cdot 0,5 \cdot 9,81 \cdot 1500 = 18,4 \text{ Н.}$$

Принимаем значение коэффициента трения материала по материалу μ_2 = 0,7.

Тогда сопротивление перемещению призмы волочения вычисляем по формуле (3.10):

$$W_2 = 18,39 \cdot 0,7 = 12,88 \text{ Н.}$$

Вычисляем мощность на движение вибратора по формуле (3.11):

$$N_1 = \frac{(150 + 18,8)1}{75 \cdot 0,85} = 2,25 \text{ Вт.}$$

Контрольные вопросы

1 От каких параметров зависят размеры площадки вибротрамбовки?

2 Как определить потребное число циклов при виброуплотнении?

3 От каких параметров зависит сила тяжести колеблющихся частей вибромашины?

4 Как выбрать оптимальную величину возмущающей силы для виброколебаний вибратора?

5 Как определить силу тяжести вибратора?

4 Практическое занятие № 4. Определение основных параметров сваебойного оборудования

Цель работы: изучение и освоение методики определения основных параметров и мощности сваебойного оборудования.

4.1 Порядок выполнения работы

1 Изучить теоретические сведения.

2 Выполнить расчет основных параметров и мощности сваебойного оборудования.

3 Построить графики в соответствии с индивидуальным заданием.

4 Проанализировать зависимость мощности от выбранных параметров.

4.2 Содержание отчета

Расчет основных параметров и мощности сваебойного оборудования.

4.3 Теоретические сведения

Исходные данные для расчета.

Характеристики сваи: длина, форма и размеры сечения, материал, глубина погружения, уклон при погружении.

Характеристики грунта: наименование, плотность, показатель текучести.

Расчет несущей способности сваи по грунту.

Расчет выполняем согласно методике СНиП 2.02.03–85 [5], однако несущую способность сваи представим в более удобном виде.

$$F_d = F_{df} + F_{dr}; \tag{4.1}$$

$$F_{df} = \sum \gamma_c \cdot \gamma_{cf} \cdot u \cdot f_i \cdot h_i; \tag{4.2}$$

$$F_{dr} = \sum \gamma_c \cdot \gamma_{cR} \cdot R \cdot A, \tag{4.3}$$

где F_{df} – несущая способность на боковой поверхности сваи;

F_{dR} – несущая способность на острие сваи;

γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте для свай, погружаемых в грунт на глубину менее 4 м, $\gamma_c = 0{,}6$ – на глубину 4 м и более; $\gamma_c = 0{,}8$ – для всех сооружений, кроме опор воздушных линий электропередач;

γ_{cf} – коэффициент условий работы на боковой поверхности сваи, изменяется в зависимости от типа грунта и сваи в пределах 0,6…1;

γ_{cR} – коэффициент условий работы на острие сваи, изменяется в зависимости от типа грунта и сваи в пределах 0,7…1,2;

u – периметр поперечного сечения сваи, м;

i – номер расчётного слоя (рисунок 4.1);

f_i – расчетное сопротивление i-го слоя грунта по боковой поверхности сваи, кПа; изменяется в зависимости от типов сваи и гранта в пределах 0,2…1;

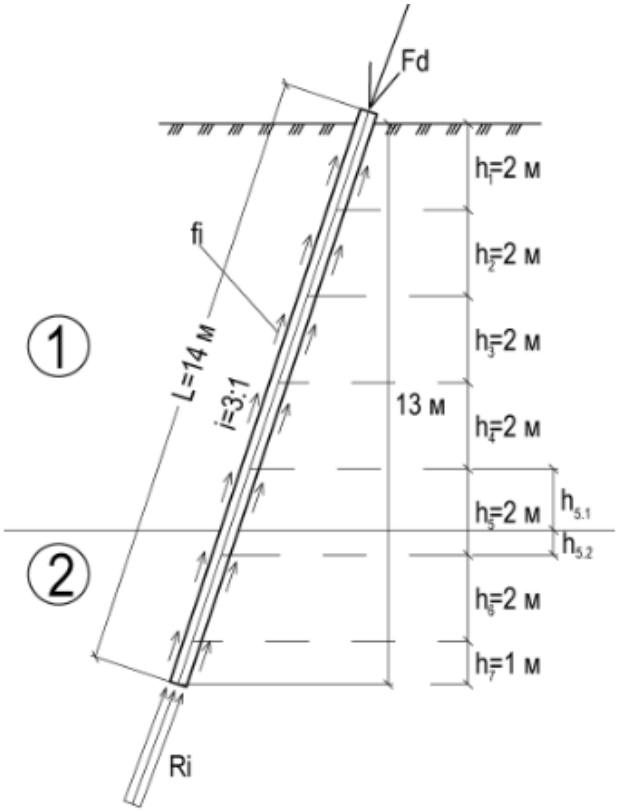
h_j – толщина расчетного j-го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа; изменяется в зависимости от типа грунта и глубины погружения: R = 600…15000;

A – площадь опирания сваи на грунт, м^2.

Расчётная схема представлена на рисунке 4.1.

Расчётные сопротивления по [5] представлены на рисунке 4.2.



1 и 2 – инженерно-геологические элементы

Рисунок 4.1 – Расчетная схема сопротивления забивке сваи

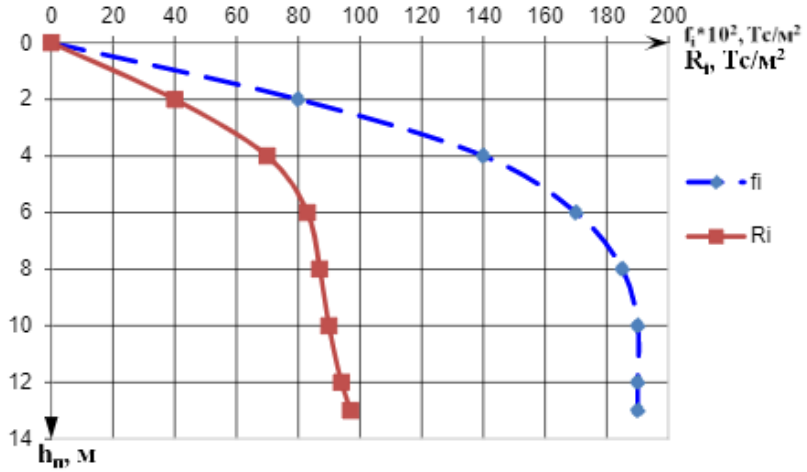


Рисунок 4.2 – Зависимость расчетных сопротивлений сваи в зависимости от глубины погружения

Расчеты рекомендуется свести в табличную форму (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Определение несущей способности сваи на разных глубинах

Номер слоя	*hi*, м	ОПС, м	*hni*, м	*hni ср*, м	ИГЭ	*fi*, кН/м^2	*Ri*,, кН/м^2	*Fdf*, кН	*FdR*, кН	*Fd*, кН	*Fd*, кН

Здесь ОПС – отметка подошвы расчетного слоя, м;

h_n – глубина погружения сваи до подошвы расчётного слоя, м;

h_{ncp} – глубина середины расчётного слоя, м;

ИГЭ – инженерно-геологический элемент;

l_L – показатель текучести грунта;

R – расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи, тс/м^2.

Примечание – Для слоя h_s принимаем средневзвешенное значение f_i.

Пример результатов расчёта показан на рисунке 4.3. Здесь же определим погружение сваи h_0 под действием её собственного веса P_c.

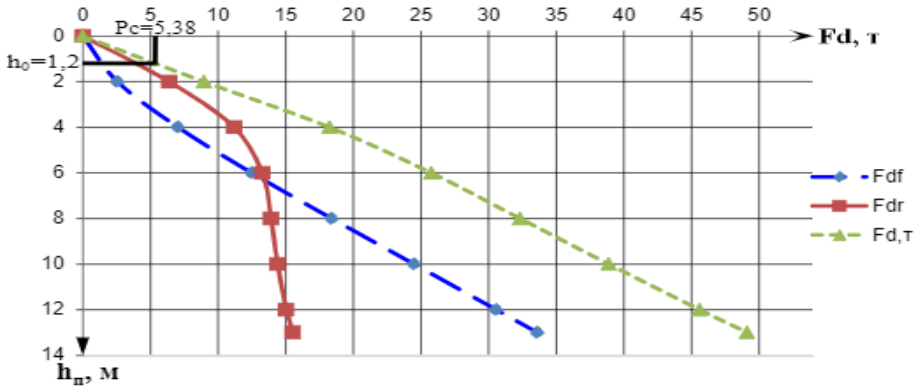


Рисунок 4.3 – Зависимость несущей способности на острие сваи, несущей способности на боковой поверхности, несущей способности сваи от глубины погружения

Выбор свайных молотов.

Предлагается записать критерии выбора молотов в следующем виде.

Критерий IV-I энергии удара $E^B > E^T$,

где E^B – энергия одного удара выбранного молота (возможная энергия);

E^T – необходимая для погружения сваи энергия одного удара молота (требуемая энергия).

$$E^T = F_d \cdot S_A \cdot k_{TC} \cdot k_\alpha, \tag{4.4}$$

где $k_{тс}$ – коэффициент, учитывающий тип сваи, в зависимости от типа сваи принимает значения 800…1500;

k_α – коэффициент, учитывающий наклон сваи, принимает значения от 0,8 до 1;

S_A – условный требуемый отказ сваи, для глубин погружения меньше 20 м равен 0,002.

Критерий V-1 безопасности удара для сваи $k_Б^в \le k_Б^T$,

$$k_Б^в = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{E^T}, \tag{4.5}$$

где m_1 – масса молота, т;

m_2 – масса сваи с наголовником, т;

m_3 – масса подбабка.

$$k_Б^T = k \cdot k_{TX}, \tag{4.6}$$

где k – стандартный коэффициент применимости по [5], при забивке свай молотами ударного действия принимается равным единице;

k_{TX} – коэффициент, учитывающий технологию погружения при забивке свай молотами ударного действия, принимается равным единице.

Критерий IV-2 работоспособности молота

$$S_{\alpha\min}^B \ge S_\alpha^T,$$

где S_a^B – возможный отказ сваи по расчету;

S_a^T – требуемый отказ сваи (по [14], $S_a^T = 0{,}002$ м).

$$S_a^B = \frac{c_1 \cdot E^T}{F_d(F_d + c_1)} c_2; \tag{4.7}$$

$$c_1 = \eta \cdot A_{бр}; \tag{4.8}$$

$$c_2 = \frac{m_1 + e^2(m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}, \qquad (4.9)$$

где c_1, c_2 – постоянные удара молота;

$A_{бр}$ – площадь сечения сваи, брутто;

e – коэффициент восстановления удара;

η – коэффициент материала сваи, принимается от 0,6 до 1.

Критерий IV-3 частоты ударов $V^B \geq V^T$.

Критерий V-2 защиты железобетонных свай

$$\sigma_{усл}^{в} \geq \sigma_{усл}^{т},$$

где $\sigma_{усл}^{в}$ – возможное условное статическое напряжение в свае;

$\sigma_{усл}^{т}$ – требуемое условное статическое напряжение в свае.

$$\sigma_{усл}^{B} = \frac{m_y}{A}, \qquad (4.10)$$

где m_y – масса ударной части молота.

Критерий V-3 аналогичен предыдущему, но в нем рассматриваются динамические напряжения от удара при условии, что $\sigma_{дин}^{T}$ = 33 МПа для железобетона.

Критерий III вертикального габарита молота

$$h^B \leq h^T,$$

где h^B, h^T – возможная и требуемая высота молота с наголовником.

Здесь h^T выбирается в зависимости от высотных характеристик кранов и копровых устройств, применяемых для обеспечения нормальной эксплуатации молота.

Критерий VII-1 обеспечения безопасности по расстоянию

$$R^B \geq R^T,$$

где $R^B \geq R^T$ – возможное и требуемое расстояния от места забивки до ближайших зданий и сооружений (R^T = 25 м).

Критерий VII-2 безопасности по ускорениям колебаний

$$1/A^B = 1/A^T,$$

где $A^{\boldsymbol{B}}$ и A^T – возможное и допустимое ускорение колебаний фундамента существующего здания, при котором исключаются опасные значения дополнительных осадок.

Аналогичным образом могут быть записаны критерии, показателями которых являются скорости, амплитуды, частоты колебаний и других, кроме фундамента, элементов существующих зданий.

На основании приведенных критериев необходимо выбрать свайный молот из [5].

Пример определения основных параметров сваебойного оборудования

Исходные данные:

– глубина погружения сваи, м; h = 4;

– коэффициент условий работы сваи в грунте γ_c = 1;

– ширина основания сваи, м; b_c = 0,4;

– длина основания сваи, м; h_c = 0,4;

– расчетное сопротивление под нижним концом сваи принимаем по таблице 7.2 [5]: R = 1000;

– масса молота, т; m_1 = 5;

– масса сваи с наголовником, т; m_2 = 2;

– масса подбабка m_3 = 1,5.

Решение

Значение коэффициента условий работы на острие сваи принимаем по таблице 7.4 [5]: γ_{cR} = 0,7.

Расчетное сопротивление под нижним концом сваи принимаем по таблице 7.2 [5]: R = 1000.

Определяем несущую способность на острие сваи по формуле (4.2):

$$F_{df} = 1 \cdot 0,7 \cdot 0,32 \cdot 15 \cdot 1 + 1 \cdot 0,7 \cdot 0,32 \cdot 30 \cdot 3 = 23,52 .$$

Определяем несущую способность на боковой поверхности сваи по формуле (4.3):

$$F_{dr} = 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 0,16 = 112 .$$

Выбор свайного молота.

Определяем энергию одного удара.

Принимаем значение коэффициента, учитывающего тип сваи, k_{mc} = 1000.

Принимаем значение коэффициента, учитывающего угол наклона сваи, k_α = 1.

Определяем энергию удара по формуле (4.4):

$$E^T = 23.52 \cdot 0,002 \cdot 1000 \cdot 1 = 47,04 .$$

Определяем значение критерия безопасности по формуле (4.5):

$$k_{Б}^{в} = \frac{5+2+1,5}{47,04} = 0,181.$$

Принимаем значение коэффициента материала сваи η = 0,8.

Определяем показатель c_1 постоянной удара молота по формуле (4.8):

$$c_1 = 0,8 \cdot 0,16 = 0,128.$$

Определяем показатель c_2 постоянной удара молота по формуле (4.9):

$$c_2 = \frac{5+2,718^2(2+1,5)}{5+2+1,5} = 3,63.$$

Определяем значение критерия возможного отказа сваи по формуле (4.7):

$$S_a^B = \frac{0,128 \cdot 47,04}{23,52(23,52+0,128)} 3,631 = 0,039.$$

Полученное значение критерия больше требуемого, что удовлетворяет условию IV-2.

Определяем условное статическое напряжение в свае по формуле (4.10):

$$\sigma_{усл}^{B} = \frac{2}{0,16} = 12,5.$$

Полученное значение удовлетворяет условиям критериев V-2 и V-3.

Принимаем выбранные значения параметров сваебойного оборудования для определения геометрических параметров.

Контрольные вопросы

1 От каких параметров зависит несущая способность сваи?

2 Как определить энергию одного удара молота?

3 Какие Вы знаете критерии безопасности, применяемые при выборе сваебойного оборудования?

4 Что такое критерий требуемого отказа сваи?

5 Как определить требуемое условное статическое напряжение в свае?

5 Практическое занятие № 5. Ограничение колебаний груза, перемещаемого мостовыми кранами

Цель работы: изучение и освоение методики определения амплитуды колебаний груза при движении козлового крана.

5.1 Порядок выполнения работы

1 Изучить теоретические сведения.

2 Выполнить расчет основных параметров колебаний груза при движении козлового крана в соответствии с вариантами индивидуальных заданий (таблица 5.1).

3 Построить графики в соответствии с индивидуальным заданием.

4 Выявить закон управления приводом хода козлового крана для предотвращения колебаний груза.

5.2 Содержание отчета

Расчет основных параметров колебаний груза при движении козлового крана.

5.3 Теоретические сведения

Среди механизмов, участвующих в процессе производства промышленной продукции, огромная роль отводится подъемно-транспортным машинам. На промышленных предприятиях наиболее распространенным и универсальным подъемно-транспортным устройством является мостовой кран. Стальная конструкция моста крана опирается на ходовые тележки и с помощью механизма передвижения перемещается по подкрановым путям, укрепленным над обслуживаемой площадкой на стационарных опорах. Вдоль моста крана проложены рельсы, по которым перемещается тележка с установленными на ней механизмом передвижения и подъемной лебедкой, осуществляющей подъем и спуск грузов.

При переходных процессах пуска и торможения приводов передвижения, когда точка подвеса груза движется с ускорением, возникает раскачивание груза относительно своего положения равновесия. Груз и подвес образуют маятник с подвижной точкой подвеса, которая закреплена на тележке мостового крана. Под действием усилия, приложенного к точке подвеса от приводов передвижения, транспортируемый груз совершает колебания в плоскости движения механизма. Амплитуда и период колебаний груза зависят от изменения длины подвеса груза и веса транспортируемого груза.

Порядка 20 % времени полного цикла перегрузочных операций затрачивается на ожидание завершения колебаний груза. Кроме того,

раскачивание груза приводит к увеличению динамической нагрузки на привод и металлическую конструкцию крана.

Расчетная схема движения груза в горизонтальном направлении представлена на рисунке 5.1.

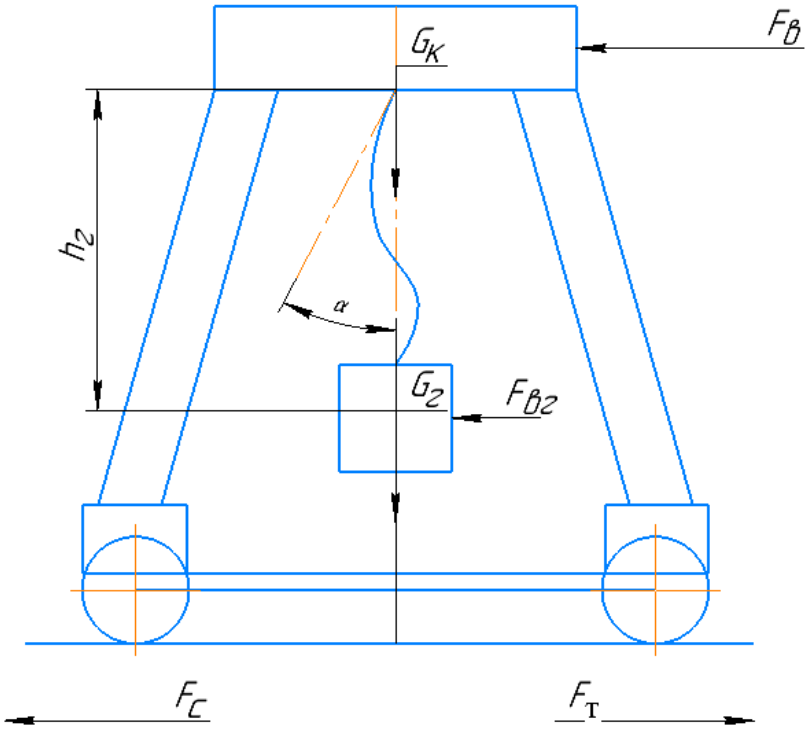


Рисунок 5.1 – Расчетная схема движения крана с грузом

Исходные данные для расчета:

– масса крана, кг;

– масса груза, кг;

– коэффициент сопротивления передвижению крана;

– максимальная скорость движения крана, м/с;

– площадь фронтальной поверхности крана, м^2;

– динамическое давление ветровой нагрузки, Па.

Для определения динамических характеристик движения крана необходимо определить силы, действующие на металлоконструкцию во время движения.

Сила сопротивления передвижению крана определяется по формуле

$$F_c = \frac{(m_к + m_г) \cdot g \cdot f_к}{1000}, \qquad (5.1)$$

где $m_к$ – масса крана, кг;

$m_г$ – масса груза, кг;

$f_к$ – коэффициент сопротивления передвижению крана.

Сила сопротивления передвижению от ветровой нагрузки

$$F_в = \frac{A \cdot q}{1000}, \tag{5.2}$$

где A – площадь приложения ветровой нагрузки, м^2;

q – динамическое давление ветровой нагрузки, Па.

Мощность, необходимая для передвижения крана, определяется по формуле

$$N_к = (F_c + F_в) \cdot v_к, \tag{5.3}$$

где $v_к$ – скорость движения крана.

По полученному значению необходимо выбрать двигатель и установить его параметры: мощность $N_д$; вращающий момент $M_д$; частоту вращения $n_д$; коэффициент увеличения пускового момента $K_п$.

Максимальный момент на валу двигателя, развиваемый при пуске, определяется по формуле

$$M_{д\max} = \frac{1000 \cdot N_д}{\omega_д} K_п, \tag{5.4}$$

где $K_п$ – пусковой момент двигателя.

Максимальная угловая скорость приводного колеса определяется по формуле

$$\omega_к = \frac{v_к}{R_к}, \tag{5.5}$$

где $R_к$ – радиус приводного колеса.

Передаточное число редуктора определяется по формуле

$$i_р = \frac{\omega_д}{\omega_к}, \tag{5.6}$$

где $\omega_д$ – угловая скорость вала двигателя.

Текущее значение тягового на ведущих колесах крана определяется по формуле как функция скорости и времени:

$$F_m(v,t) = M_д\left(\frac{v \cdot i_р}{R_к} t\right)\frac{i_р}{1000 \cdot R_к}. \tag{5.7}$$

Силу сопротивления перемещению крана от качания груза определяем как функцию угла отклонения груза по формуле

$$F_{сг}(\alpha) = \frac{m_г \cdot g \cdot \sin(\alpha)}{1000}, \tag{5.8}$$

где α – угол отклонения грузовых стропов.

Суммарная сила сопротивления на колесах крана определяется определятся как функция угла отклонения груза:

$$F_{ск}(\alpha) = F_с + F_в - F_{сг}(\alpha). \tag{5.9}$$

Ускорение крана определим с помощью дифференциального уравнения

$$\frac{dv_к}{dt} = \frac{1000F_m(v,t) - F_{ск}(\alpha)}{m_к + m_г}. \tag{5.10}$$

Ускорение груза определяем с помощью дифференциального уравнения как функцию начального и текущего положения груза:

$$\alpha_г(x_к x_m) = \frac{m_г \cdot g \cdot \sin(\alpha_г)}{m_г}. \tag{5.11}$$

Представленные дифференциальные уравнения необходимо решать с помощью систем автоматизированного решения математических задач, таких как РТС РТС MathCAD.

5.4 Варианты для индивидуальных заданий

Таблица 5.1 – Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Наименование параметра		
	Грузоподъемность, т	Высота подъема груза, м	Ширина пролета, м
1	5	9	6
2	10	12	9
3	15	15	12
4	20	24	18
5	15	30	24
6	30	50	36
7	35	9	6
8	40	12	9
9	45	15	12
10	50	24	18

Контрольные вопросы

1 Как определить силу сопротивления передвижению крана?

2 Как определить силу сопротивления передвижению крана от ветровой нагрузки?

3 Как определить мощность двигателя механизма передвижения крана?

4 От каких параметров зависит амплитуда колебаний груза при передвижении крана?

5 Зависит ли сила сопротивления передвижению крана от амплитуды перемещения груза?

Список литературы

1 **Довгяло, В. А.** Дорожно-строительные машины. Ч. 1: Машины для земляных работ / В. А. Довгяло, Д. И. Бочкарев. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 250 с.

2 **Доценко, А. И.** Строительные машины: учебник для строительных вузов / А. И. Доценко. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 533 с.

3 Горные машины карьеров / И. И. Демченко, И. С. Плотников. – Красноярск: СФУ, 2015. – 252 с.

4 **Кантович, Л. И.** Машины и оборудование для горностроительных работ: учебное пособие / Л. И. Кантович, Г. Ш. Хазанович, В. В. Волков. – Москва: Горная книга, 2011. – 445 с.

5 Выбор и расчёты производительности сваебойного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docplayer.ru/33143095. – Дата доступа: 13.01.2021.

6 Определение основных параметров вибрационных машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://stroi-archive.ru/dorozhnye-mashiny/912. – Дата доступа: 13.01.2021.