



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

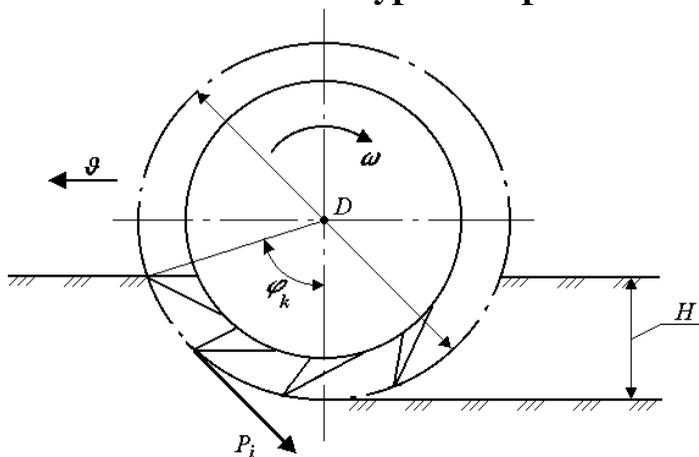
Белорусский национальный  
технический университет

Кафедра «Горные машины»

Г. В. Казаченко  
С. Г. Шульдова

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Методическое пособие  
по выполнению курсовой работы



Минск  
БНТУ  
2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Горные машины»

Г. В. Казаченко  
С. Г. Шульдова

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ  
В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Методическое пособие  
по выполнению курсовой работы  
для студентов специальностей  
1-36 10 01 «Горные машины и оборудование»  
и 1-36 13 01 «Технология и оборудование  
торфяного производства»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области горнодобывающей промышленности*

Минск  
БНТУ  
2015

УДК 622.002.5-047.58:378.147.091.313(075.8)

ББК 33я7

К14

Рецензенты:

*В. В. Борисейко, Г. А. Куптель*

**Казаченко, Г. В.**

К14 Математические модели и методы в горном производстве : методическое пособие по выполнению курсовой работы для студентов специальностей 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» и 1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства» / Г. В. Казаченко, С. Г. Шульдова. – Минск : БНТУ, 2015. – 30 с.  
ISBN 978-985-550-376-8.

В пособии приведены сведения о составе и объеме курсовой работы по одноименной дисциплине, даны основные расчетные зависимости для составления балансовых соотношений по мощности и производительности мобильной горной машины, указаны исходные данные для выполнения расчетов и их анализа.

УДК 622.002.5-047.58:378.147.091.313(075.8)

ББК 33я7

ISBN 978-985-550-376-8

© Казаченко Г. В., Шульдова С. Г., 2015

© Белорусский национальный  
технический университет, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....	5
1.1. Основные расчетные зависимости.....	5
2. РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ И ФОРМУЛЫ.....	9
2.1. Дисковая фреза.....	9
2.2. Цепной бар.....	13
2.3. Шнек-фреза.....	15
2.4. Многоковшовая рама.....	18
3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ЕЕ ЗАЩИТА.....	21
3.1. Содержание работы.....	21
3.2. Правила оформления курсовой работы.....	22
3.3. Подготовка к защите.....	24
ПРИЛОЖЕНИЕ. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	25
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	29

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курсовая работа посвящена моделированию стационарного процесса работы горной мобильной технологической машины на основе законов сохранения и выражается в определении двух основных расчетных параметров – скорости исполнительного органа и скорости подачи. Модель рабочего процесса горной машины описывается с помощью двух основных балансовых соотношений – уравнений баланса мощности и производительности. Их составление, численное решение и анализ результатов составляет основное содержание работы. При выполнении курсовой работы студенты обязаны проанализировать схему работы одной из машин, на которой используется исполнительный орган, определенный заданием на проектирование, а также изучить устройство машины и принцип ее действия.

# 1. ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

## 1.1. Основные расчетные зависимости

Формирование математической модели движения машины при выполнении технологического процесса начинается с составления уравнений балансов мощности и производительности.

*Уравнение баланса мощности* в самой общей форме можно представить в виде

$$N = \sum_1^n N_i, \text{ кВт}, \quad (1.1)$$

где  $N$  – общая мощность источников энергии, работающих одновременно;

$N_i$  – мощность, затрачиваемая на выполнение отдельной операции технологического процесса, выполняемого машиной;

$n$  – общее число выполняемых операций (потребителей энергии).

Горные мобильные технологические машины, как правило, имеют основной рабочий орган – орган разрушения породы, а также органы передвижения и подачи, погрузки и перемещения породы и др. Привод активных рабочих органов может осуществляться от одного или нескольких двигателей. При многодвигательном приводе уравнение баланса мощности распадается на совокупность уравнений

$$N_j = \sum_{k=1}^m N_k, \text{ кВт}, \quad (1.2)$$

где  $N_j$  – мощность  $j$ -го двигателя;

$N_k$  – мощность, потребляемая органами, приводимыми от  $j$ -го двигателя;

$m$  – число органов, приводимых от  $j$ -го двигателя.

В большинстве горных машин и комбайнов общие затраты мощности состоят:

- из мощности для разрушения массива полезного ископаемого;
- мощности на погрузку отбитой горной породы на конвейер или другое транспортное средство;
- мощности на подачу исполнительного органа на забой;
- мощности на передвижение машин.

Этот перечень мощностей не является исчерпывающим. В зависимости от конструкции машины некоторые из них не входят в уравнение баланса мощности, тогда как наоборот могут и входить другие составляющие. Например, мощность для разгона породы (мощность на сообщение кинетической энергии), мощность на подъем породы органом разрушения и т. п.

Второе уравнение математической модели – *уравнение баланса производительности*. Это уравнение записывается для органа разрушения и имеет вид

$$Q_x = Q_{p_0}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.3)$$

где  $Q_x$  – производительность машины по ходу;

$Q_{p_0}$  – производительность исполнительного органа по отбитой породе.

Эти производительности, как и в случае уравнения баланса мощности, зависят от конструкции машины и режимных параметров ее работы. Конкретные выражения для определения мощности и производительности приводятся при рассмотрении типовых исполнительных органов. Отдельные составляющие общих затрат мощности горной мобильной технологической машины зависят от типа и конструкции исполнительного органа, других механизмов, работающих одновременно с ним, а также режимов их работы. В настоящей курсовой работе рассматриваются упрощенные схемы горных мобильных машин, на основе которых можно сформировать уравнения балансов мощности

и производительности. Расчетные зависимости даются без выводов и обоснований, с которыми студенты ознакомятся при изучении специальных дисциплин «Горные машины и оборудование», «Проектирование горнодобывающих машин» и др. Эти формулы приводятся для наиболее широко распространенных исполнительных органов мобильных технологических машин, используемых при создании горных выработок, добыче полезных ископаемых и других горных работах.

Для всех рабочих органов основная составляющая общих затрат мощности – мощность на разрушение породы – определяется по формуле

$$N_1 = e_p \cdot \frac{Q_x}{1000\eta}, \text{ кВт}, \quad (1.4)$$

где  $e_p$  – удельные затраты мощности, Вт·с/м<sup>3</sup>;

$\eta$  – КПД привода исполнительного органа;

1000 – переводной коэффициент для получения результата в кВт.

Удельные затраты мощности определяются расчетным путем

$$e_p = c_1 \cdot h^{c_2}, \text{ Вт·с / м}^3, \quad (1.5)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – коэффициенты, зависящие от прочности породы, геометрии резца и других параметров, характеризующих конкретные условия разрушения породы;

$h$  – средняя толщина стружки, снимаемая резами органа разрушения.

Мощность для подачи исполнительного органа на забой определяется выражением

$$N_2 = P_{\Pi} \cdot \frac{Q_{\Pi}}{1000\eta_1}, \text{ кВт}, \quad (1.6)$$

где  $P_{\text{п}}$  – усилие подачи, Н;

$\mathfrak{V}_{\text{п}}$  – скорость подачи, м/с;

$\eta_1$  – КПД привода механизма подачи.

Усилие подачи принимается пропорциональным силе сопротивления разрушению породы (силе резания).

$$P_{\text{п}} = k_{\text{п}} \cdot P_{\text{р}}, \text{ Н}, \quad (1.7)$$

где  $k_{\text{п}}$  – коэффициент пропорциональности;

$$P_{\text{р}} = 1000 \cdot \eta \cdot \frac{N_1}{\mathfrak{V}_{\text{р}}} - \text{сила резания, Н}; \quad (1.8)$$

$\mathfrak{V}_{\text{р}}$  – скорость резания, м/с.

Мощность на передвижение машины

$$N_3 = P_{\text{сд}} \cdot \frac{\mathfrak{V}_{\text{т}}}{1000\eta_2}, \text{ кВт}, \quad (1.9)$$

где  $P_{\text{сд}}$  – сила сопротивления движению, Н: см. формулу (1.10);

$\mathfrak{V}_{\text{т}}$  – теоретическая скорость движения, м/с;

$\eta_2$  – КПД привода механизма передвижения.

$$P_{\text{с.д}} = k_{\text{с.д}} \cdot (m \cdot g \cdot \cos \varphi + P_z) + m \cdot g \cdot \sin \varphi + P_{\text{п}}, \text{ Н}, \quad (1.10)$$

где  $k_{\text{с.д}}$  – коэффициент сопротивления движению;

$m$  – масса машины, кг;

$\varphi$  – угол наклона опорной поверхности, град;

$P_z$  – равнодействующая сил, прижимающих машину к опорной поверхности (например, силы тяжести, вертикальной составляющей сил сопротивления разрушению породы и др.).

В тех случаях, когда сила подачи создается механизмом передвижения машины, мощности для подачи исполнительного органа и передвижения машины могут быть объединены:

$$N_2 + N_3 = \frac{P_{\text{п}} + P_{\text{с.д}}}{1000\eta} \cdot \mathfrak{V}_{\text{т}}, \text{ кВт}, \quad (1.11)$$

Мощность на подъем отбитой породы органами погрузки в общем виде может быть вычислена по формуле

$$N_4 = \rho \cdot g \cdot H_n \cdot Q_x / 1000 \cdot \eta \cdot \eta_4, \text{ кВт}, \quad (1.12)$$

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

$H_n$  – высота подъема породы исполнительным органом, м;

$\eta_4$  – КПД механизма погрузки.

В ряде машин, исполнительные органы которых движутся со сравнительно большими скоростями, значительная часть мощности тратится на разгон разрушенной породы. Эта мощность обычно вычисляется по формуле

$$N_5 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{п.р}^2 \frac{Q_x}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт}, \quad (1.13)$$

где  $v_{п.р}$  – скорость, сообщаемая породе исполнительным органом, м/с.

Другие составляющие затрат мощности, а также производительности исполнительных органов определяются формулами, которые приводятся при рассмотрении расчетных схем.

## 2. РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ И ФОРМУЛЫ

### 2.1. Дисковая фреза

Дисковая фреза – широко применяемый орган разрушения пород, который используется в мобильных машинах для добычи кускового торфа, нарезки строительного камня, устройства дрен и коммуникационных каналов. По такому же принципу работают цилиндрические фрезы, барабаны и т. п.

Расчетная схема прицепного машинно-тракторного агрегата с исполнительным органом в виде дисковой фрезы приведена на рисунке 2.1.

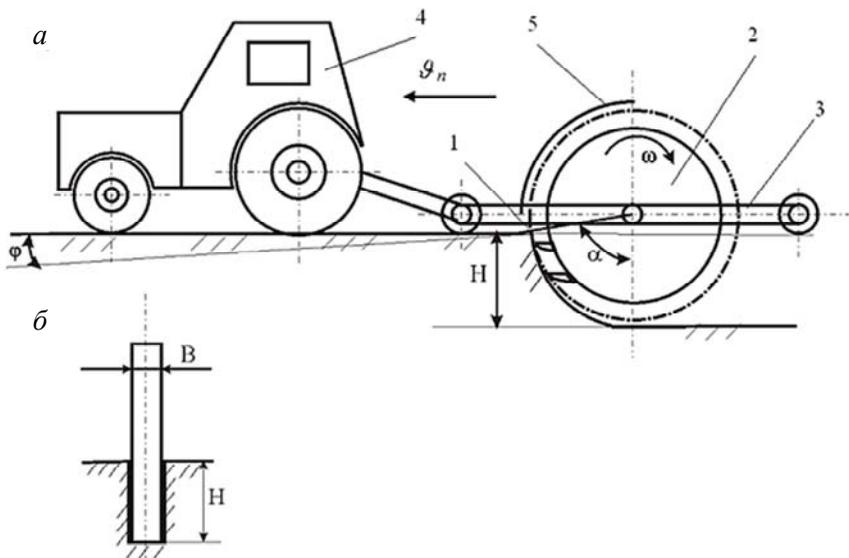


Рисунок 2.1 – Расчетная схема прицепного агрегата с исполнительным органом в виде дисковой фрезы:  
*a* – вид сбоку; *б* – сечение выработки;  
 1 – резец; 2 – дисковая фреза; 3 – рама, 4 – тягач;  
 5 – направляющий кожух

При разработке математической модели учитываются мощности:

- на разрушение породы  $N_1$  (формулы (1.4) и (1.5));
- на сообщение разработанной породе кинетической энергии  $N_2$  (формула (1.13));
- на подъем породы

$$N_3 = (D - \frac{1}{2} \cdot H) \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{Q_x}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

где  $D$  – диаметр фрезы по концам резцов, м;

$H$  – глубина разрабатываемого слоя породы, м;

– на перемещение агрегата

$$N_4 = \frac{\mathcal{Q}_{\Pi}}{1000\eta} \left( k_{с.д} \cdot (m \cdot g \cdot \cos \varphi + P_{\Pi} \cdot \cos \alpha) + P_{\Pi} \cdot \sin \alpha + m \cdot g \cdot \sin \varphi + P_p \cdot \cos \alpha \right), \text{ кВт}, \quad (2.2)$$

где  $\alpha = \arcsin \frac{2\sqrt{H \cdot (D-H)}}{D}$  – угол контакта фрезы с залежью;

$P_{\Pi} = P_p \cdot k_{\Pi}$  – сила сопротивления подаче, Н;

$P_p = \frac{2 \cdot N_1 \cdot 1000\eta}{D}$  – окружная сила сопротивления резанию, Н;

нию, Н;

$k_{\Pi}$  – коэффициент пропорциональности;

$Q_x = B \cdot H \cdot \mathcal{Q}_{\Pi}$  – производительность по ходу, м<sup>3</sup>/с;

$B$  – ширина захвата, м.

При определении удельных затрат мощности на разрушение породы средняя толщина стружки, снимаемая резцами фрезы:

$$h = \frac{2}{3} \cdot h_{\max}, \text{ м}, \quad (2.3)$$

где  $h = \frac{\mathcal{Q} \cdot 4 \cdot \pi}{\omega \cdot z} \cdot \sin \alpha$  – максимальная толщина стружки, снимаемой резцами фрезы;

$\omega$  – угловая скорость вращения фрезы, рад/с;

$z$  – число резцов на фрезе или в линии резания.

Приведенные зависимости для вычисления мощностей, потребляемых машиной при выполнении рабочего процесса, дают возможность сформировать уравнение баланса мощности в общем виде

$$N_d - k_N \cdot (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) = 0, \quad (2.4)$$

где  $k_N$  – коэффициент запаса мощности.

Для формирования уравнения баланса производительности используем формулу, с помощью которой находится производительность такой фрезы

$$Q_\Phi = \frac{k_V}{k_p} \cdot \frac{(D^2 - d^2) \cdot B \cdot \omega}{8}, \quad (2.5)$$

где  $k_V$  – коэффициент заполнения рабочего пространства;

$k_p$  – коэффициент разрыхления породы исполнительным органом;

$d$  – диаметр диска фрезы.

Так как  $Q_x = B \cdot H \cdot \vartheta_n$ , то легко формируется уравнение баланса производительности

$$Q_\Phi - k_Q \cdot Q_x = 0, \quad (2.6)$$

где  $k_Q$  – коэффициент запаса производительности.

Уравнения (2.4), (2.6) могут быть использованы для решения различных задач при создании и эксплуатации мобильных технологических машин с исполнительными органами, содержащими дисковые фрезы. В настоящей работе ставится задача определить такие значения  $\vartheta_n$  и  $\omega$ , при которых соблюдается уравнение (2.6) и полностью используется мощность двигателя (2.4).

Совместное решение уравнений (2.4, 2.6) позволяет решить поставленную задачу одним из способов решения систем нелинейных уравнений при значениях исходных данных, приведенных в таблице П1.

## 2.2. Цепной бар

Цепной бар – один из первых исполнительных органов, который применялся для механизации работ при отбойке и выемке каменного угля. В настоящее время он применяется как при выполнении открытых горных работ, так и в условиях подземных разработок. Схема машины с рабочим оборудованием в виде цепного бара представлена на рисунке 2.2.

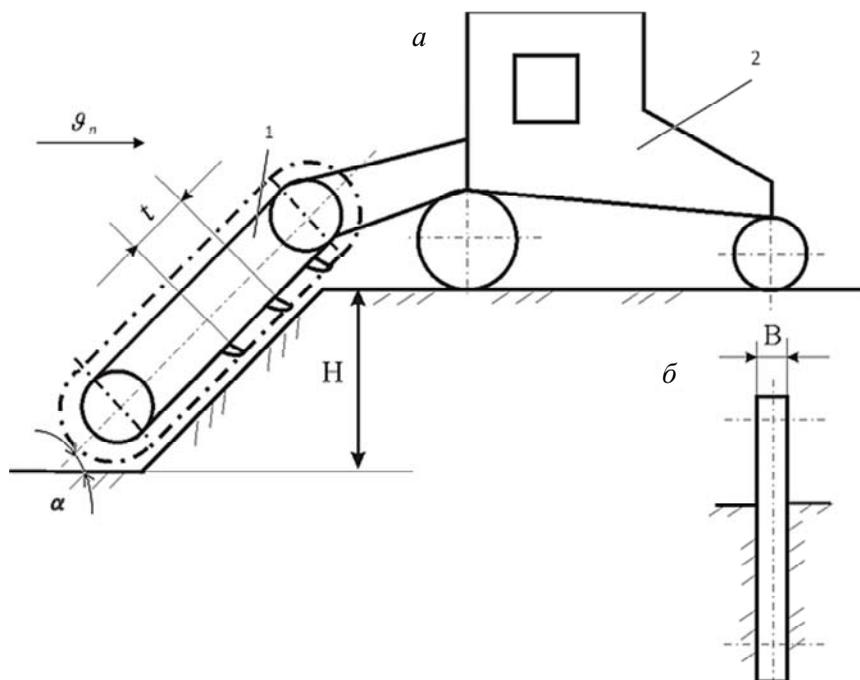


Рисунок 2.2 – Расчетная схема машины с исполнительным органом в виде цепного бара:

$a$  – схема машины;  $b$  – сечение выработки

1 – цепной бар; 2 – гусеничное энергетическое мобильное средство

Балансовые соотношения для машины, оснащенной цепным баром, устанавливаются следующим образом. Мощность, потребляемая механизмами машины:

$$N = N_1 + N_2 + N_3, \text{ кВт}, \quad (2.7)$$

где  $N_1$  – мощность на разрушение породы: см. формулу (1.5);

$N_2$  – мощность, необходимая для подъема отбитой породы: см. формулу (2.9);

$N_3$  – мощность на передвижение машины: см. формулу (2.10).

Толщина стружки, срезаемой резцами бара, рассчитывается по формуле

$$h = \frac{\vartheta}{u} \cdot t \cdot \sin \alpha, \quad (2.8)$$

где  $u$  – скорость движения резцов, м/с;

$t$  – шаг установки резцов, м;

$\vartheta = \vartheta_T \cdot (1 - \varepsilon)$  – действительная скорость передвижения машины, м/с,

$\varepsilon = \frac{V_{\text{п}}}{V_T}$  – коэффициент буксования,

$V_{\text{п}}$  – потери скорости, м/с;

$\alpha$  – угол наклона бара к горизонту, град.

Мощность, необходимая для подъема отбитой породы, определяется по формуле

$$N_2 = \rho \cdot g \cdot H_h \cdot \frac{Q_x}{1000 \eta \cdot \eta_1}, \quad (2.9)$$

где  $H_h$  – высота подъема горной породы баром;

$\eta_1$  – коэффициент полезного действия бара как подъемного механизма.

Остальные величины, входящие в формулу (2.9), имеют тот же смысл, что и в формуле (1.13).

Третья составляющая  $N_3$  вычисляется по формуле, аналогичной (2.5):

$$N_3 = \frac{Q_{\Pi}}{1000\eta_2} \cdot (k_{c.d} \cdot (m \cdot g \cdot \cos \varphi + m \cdot g \cdot \sin \varphi) + P_n \cdot \sin \alpha + P_p \cdot \cos \alpha), \text{ кВт}, \quad (2.10)$$

где  $\eta_2$  – КПД привода механизма передвижения агрегата.

Равнодействующую  $P_p$  сил сопротивления можно определить по формуле

$$P_p = \frac{N_1 \cdot 1000\eta}{u}, \text{ Н}. \quad (2.11)$$

Представленные соотношения для определения затрат мощности позволяют сформировать для рассматриваемой машины уравнение баланса мощности.

Для составления баланса производительности приведем формулу вычисления производительности цепного бара

$$Q_6 = \frac{k_V}{k_p} \cdot B \cdot (h_p - h) \cdot u, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.12)$$

где  $h_p$  – вылет резца, м.

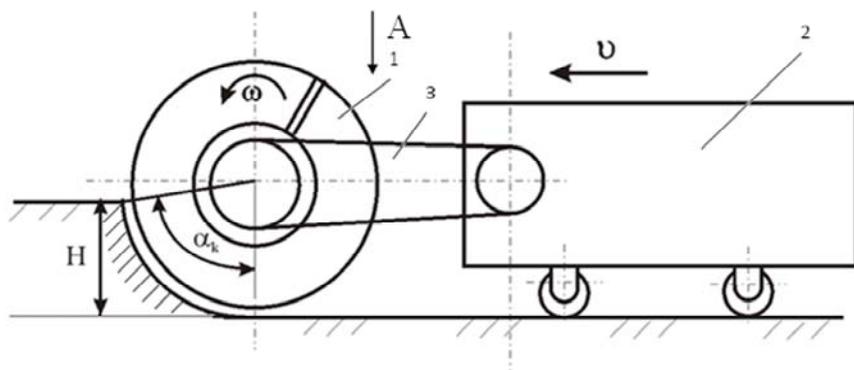
Остальные величины и коэффициенты имеют смысл, описанный ранее.

Таким образом, приведены все зависимости для составления системы уравнений, моделирующей стационарный режим работы мобильной технологической машины с рабочим органом в виде цепного бара. Исходные данные для расчетов и анализа решений приведены в таблице П2.

### 2.3. Шнек-фреза

Машины с таким исполнительным органом чрезвычайно широко распространены в горнодобывающей промышленности. Примером тому может служить почти исключительное ее

использование в комбайнах для выполнения очистных работ при разработке угольных и калийных подземных месторождений. Такой же тип исполнительного органа применяется в машинах для разработки торфяных месторождений и профилирования поверхности дорог. Одна из возможных схем машин приведена на рисунке 2.3.



A ∩

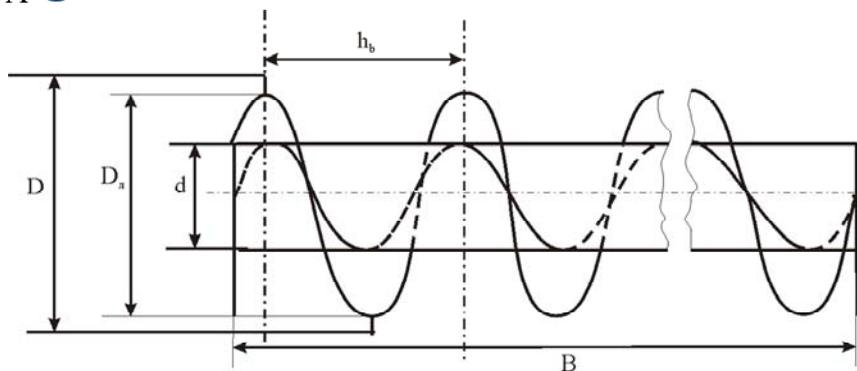


Рисунок 2.3 – Расчетная схема машины с исполнительным органом в виде шнек-фрезы:

1 – шнек-фреза; 2 – корпус; 3 – привод

Мощность для работы подобной машины может быть представлена как сумма трех составляющих. Первая, как и в пре-

дыдущих машинах, есть мощность для разрушения породы, которая, как и для дисковой фрезы, вычисляется также по формуле (1.5). Однако при вычислении максимальной толщины стружки вместо числа резцов  $z$  для фрез с непрерывной режущей кромкой подставляется число заходов фрезы, а для фрез с резцами, установленными на винтовой поверхности лопасти, среднее число резцов в линиях резания.

Вторая составляющая затрат мощности есть затраты на передвижение машины и подачу исполнительного органа и вычисляется по формуле

$$N_2 = \frac{Q_{\text{п}}}{1000\eta_1} \left( k_{\text{с.д}} \cdot (m \cdot g \cdot \cos \varphi - P_{\text{р}}) + P_{\text{п}} + m \cdot g \cdot \sin \varphi \right), \text{ кВт}, \quad (2.13)$$

где  $P_{\text{р}} = \frac{2 \cdot N_1 \cdot 1000\eta}{D \cdot \omega}$  – приведенная результирующая сил сопротивления.

Третья составляющая мощности – затраты на продвижение породы шнеком фрезы вдоль его оси. Эти затраты можно вычислить по формуле

$$N_3 = \frac{1}{1000\eta} \cdot f \cdot P_{\text{ос}} \cdot \omega \cdot \frac{D}{3}, \text{ кВт}, \quad (2.14)$$

где  $P_{\text{ос}}$  – осевое усилие, действующее на лопасть шнека, Н;

$D$  – наружный диаметр лопасти, м;

$f$  – коэффициент трения отбитой породы о лопасть шнека.

Осевое усилие, действующее на лопасть шнека:

$$P_{\text{ос}} = m_2 \cdot g \cdot f, \text{ Н}, \quad (2.15)$$

где  $m_2$  – масса грунта, перемещаемого шнеком, кг:

$$m_2 = \frac{\rho \cdot Q_x \cdot B}{\vartheta_{oc}}, \text{ кг}, \quad (2.16)$$

где  $\vartheta_{oc}$  – скорость перемещаемого грунта, м/с:

$$\vartheta_{oc} = \frac{\Psi}{2 \cdot \pi} \cdot h_b \cdot \omega, \text{ м/с}, \quad (2.17)$$

где  $\Psi$  – коэффициент, учитывающий циркуляцию (вращение) породы при ее перемещении шнеком;

$h_b$  – шаг шнека, м.

Таким образом, имеются все зависимости, необходимые для формирования уравнения баланса мощности. Для шнек-фрезы в стационарном режиме должны выполняться два условия достаточности производительности, первое из которых такое же, как и для дисковых фрез, а второе состоит в обеспечении производительности по перемещению породы. В этой работе используется второе условие, так как на практике его обеспечение вызывает затруднения наиболее часто. При использовании этого условия вычисляется объемная производительность шнек-фрезы по перемещаемой породе:

$$Q_{\phi} = \frac{h_b \cdot k_V}{8 \cdot k_p} \cdot \omega \cdot \Psi \cdot (D_{л}^2 - d^2), \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.18)$$

где  $d$  – внутренний диаметр шнека, м.

Исходные данные для выполнения расчетов приведены в таблице ПЗ.

## 2.4. Многоковшовая рама

Исполнительный орган такого типа используется в экскаваторах непрерывного действия, уборочных торфяных машинах,

а также ряде других машин. Машина с многоковшовой рамой схематично представлена на рисунке 2.4.

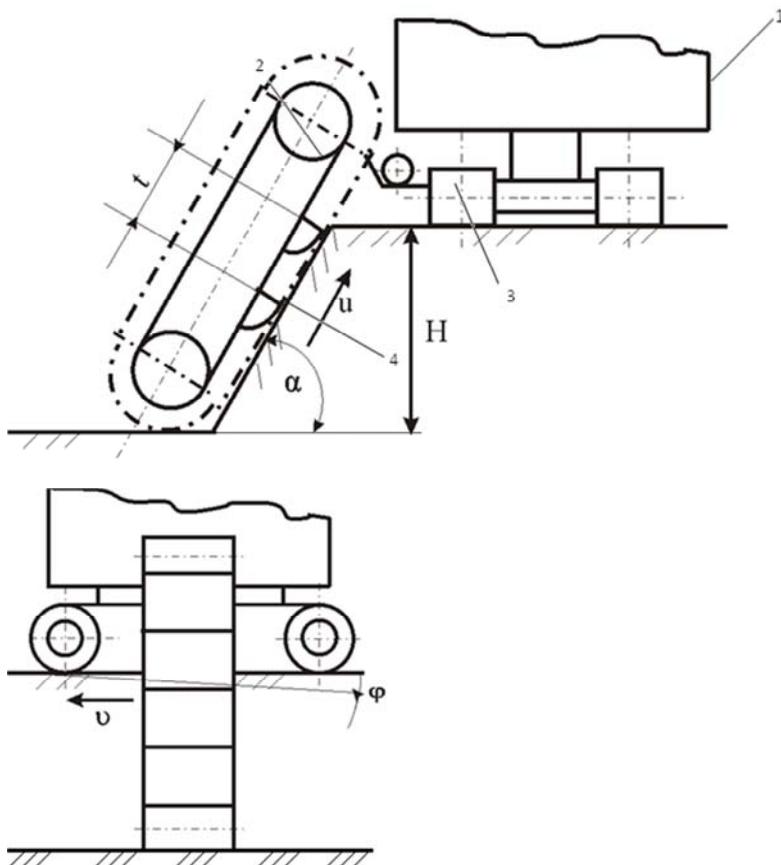


Рисунок 2.4 – Расчетная схема машины с исполнительным органом в виде ковшовой рамы:

- 1 – корпус машины; 2 – ковшовая рама;  
3 – приемно-погрузочное устройство; 4 – ковш

Мощность для работы ковшовой рамы тратится на разрушение массива, подъем породы и перемещение машины.

Как и для ранее рассмотренных исполнительных органов, мощность  $N_1$  на разрушение породы рассчитывается по фор-

муле (1.4),  $N_2$  (на подъем породы) – по формуле (1.13), на перемещение машины – выражением

$$N_3 = \frac{g_T}{1000\eta_1} \left( m \cdot g \cdot \sin \varphi + k_{с.д} \cdot (m \cdot g \cdot \cos \varphi - P_p \sin \alpha) + P_{\Pi} \right), \text{ кВт}, \quad (2.19)$$

Удельные затраты энергии на разрушение массива определяются по формуле (1.5), а толщина стружки, снимаемой ковшами, выражением

$$h = \frac{g}{\sqrt{(u^2 + g^2)}} \cdot t \approx \frac{g}{u} \cdot t, \quad (2.20)$$

где  $u$  – скорость движения ковшей, м/с;

$t$  – шаг установки ковшей, м;

$g$  – скорость движения машины, м/с.

Вторая составляющая  $N_2$  затрат вычисляется обычным способом, в необходимые для вычисления третьей составляющей затрат мощности приведенная равнодействующая  $P_p$  сил резания и равнодействующая  $P_{\Pi}$  сил сопротивления подаче выражениями

$$P_p = \frac{N_1 \cdot 1000\eta \cdot \eta_1}{u}, \text{ Н}; \quad (2.21)$$

$$P_{\Pi} = P_p \cdot k_{\Pi}, \text{ Н}. \quad (2.22)$$

Итак, для составления баланса мощности есть все необходимые функциональные зависимости.

Производительность машины по ходу

$$Q_x = \frac{H \cdot b_c \cdot g}{\cos \alpha}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.23)$$

где  $H$  – мощность вынимаемого уступа, м;

$b_c$  – толщина снимаемого слоя, м.

Производительность ковшовой рамы поперечного копания определяется выражением

$$Q_p = \frac{k_V \cdot u}{k_p \cdot t} \cdot V_k, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.24)$$

где  $V_k$  – объем ковша.

Таким образом, сформированы все соотношения для составления уравнений балансов мощности и производительности машины с исполнительным органом в виде ковшовой рамы поперечного копания. Анализ решений этих уравнений проводится после расчетов по исходным данным, которые приведены в таблице П4.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ЕЕ ЗАЩИТА

#### 3.1. Содержание работы

Курсовая работа содержит пояснительную записку и графические иллюстрации, отображающие влияние исходных данных на результаты расчетов. Структура пояснительной записки состоит из введения, трех разделов, заключения, списка используемых источников и приложения.

Во *введении* обосновывается актуальность темы курсовой работы, формулируются цель и задачи работы. *Первый раздел* посвящается информационному обзору по теме курсовой работы, в котором приводятся сведения о методах моделирования и исследования математических моделей технических систем, а также о горных машинах с исполнительным органом, указанном в задании на проектирование. Во *втором разделе* разрабатывается математическая модель рабочего процесса машины на основе балансовых соотношений по мощности и производительности. *Третий раздел* посвящается методу исследования математической модели и анализу его результа-

тов. В этой части приводится подробный алгоритм исследования математической модели и расчет первого цикла работы метода. Результатом этого раздела являются исследование влияния параметров машины или горной породы на скорости работы машины и ее производительности. Параметры для этого исследования даются руководителем работы, а результаты представляются графически. Обязательным пунктом при этом является проверка результатов исследования на соответствие поставленной задаче. В *заключении* курсовой работы анализируются результаты и формулируются выводы. Обоснованные выводы, сформулированные в заключении работы, в значительной мере определяют результат ее выполнения.

*Источники литературы* следует располагать в алфавитном порядке. Необходимо представить полные сведения об источнике.

*Приложения* оформляются как продолжение работы, на последующих страницах после списка использованной литературы, и располагаются в порядке появления ссылок в тексте. Каждое приложение должно начинаться с нового листа с указанием в правом верхнем углу слова «Приложение» и порядковым номером без знака «№» и иметь содержательный заголовок.

### **3.2. Правила оформления курсовой работы**

*Объем курсовой работы* должен составлять примерно 30–35 страниц машинописного текста на одной странице листа белой бумаги формата А4 полутонким интервалом, шрифт Times New Roman, 14 пт.

Текст следует располагать, соблюдая следующие размеры полей: левое – 30 мм; правое – 10 мм; верхнее, нижнее – 20 мм.

Текст основной части курсовой работы делят на разделы, подразделы, пункты. Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всей курсовой работы и обозначаться арабскими цифрами. Введение, заключение, список используемых источников и приложения не нумеруются.

Подразделы нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела не должно быть точки, например: 2.3 (третий подраздел второго раздела).

Пункты нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого подраздела. Номер пункта состоит из номеров раздела, подраздела, пункта, разделенных точками, например: 1.1.2 (второй пункт первого подраздела первого раздела).

*Заголовки* разделов печатаются в центре строки прописными буквами. Заголовки подразделов печатаются с абзаца строчными буквами (кроме первой прописной). Переносы слов в заголовках не допускаются. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 2–4 межстрочным интервалам ( $\approx 3$  см). Подчеркивание заголовков не допускается. В тексте курсовой работы следует использовать только стандартизированную терминологию, а при ее отсутствии – принятую в научно-технической литературе.

*Нумерацию страниц* производят арабскими цифрами внизу, по центру. Титульный лист и задание включаются в общую нумерацию, но номер на них не ставится.

Иллюстрации, чертежи, графики, фотографии, которые расположены на отдельных страницах, включают в общую нумерацию.

*Иллюстрации* обозначают словом «Рисунок» и нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер рисунка состоит из двух цифр: номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. После номера иллюстрации помещают ее название. Например: «Рисунок 2.1 – Расчетная схема прицепного агрегата с исполнительным органом в виде дисковой фрезы». Если в курсовой работе приведена одна иллюстрация, то ее не нумеруют.

Цифровой материал целесообразно оформлять в виде *таблицы*. Каждая таблица должна иметь название. Перед названи-

ем пишется слово «Таблица» с порядковым номером. Нумерация таблиц производится из двух цифр: номера раздела и порядкового номера таблицы и дефиса пред названием, например «Таблица 2.1 – Исходные данные машины». Названия граф таблиц должны начинаться с прописной буквы, подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение. Таблицу с большим количеством строк можно переносить на другую страницу, при этом на другой странице повторяется нумерация граф. Если повторяющиеся в графе таблицы текст состоит из одного слова, его допускается заменять кавычками, если из двух и более слов, то при первом его повторении заменяется словом «то же», а далее – кавычками. При повторной ссылке на таблицу или рисунок пишут сокращено слово «смотри» («см.»), например: см. табл. 2.1.

### **3.3. Подготовка к защите**

Представленная курсовая работа проверяется руководителем и по его заключению допускается к защите.

При наличии замечаний они должны быть устранены до защиты. В этом случае работа возвращается студенту на доработку и должна быть представлена повторно на проверку.

Защита курсовой работы проводится комиссией из преподавателей кафедры, в которую входит также и руководитель работы. Студент излагает цель работы, наиболее важные выводы и результаты по работе, затем отвечает на вопросы комиссии. По результатам защиты выставляется дифференцированная оценка.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## Исходные данные

Таблица П1 – Исходные данные для машины с исполнительным органом «дисковая фреза»

Вариант	$c_1$ , Вт·с/м <sup>3</sup>	$c_2$ , Вт·с/м <sup>3</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	$k_p$	$k_V$	$k_N$	$k_Q$	$D$ , м	$d$ , м	$H$ , м	$B$ , м	$m$ , кг	$h$ , м	$\eta_l$	$z$	$N_{г\phi}$ , кВт
1	$2,5 \cdot 10^4$	-0,25	1100	3	1,2	0,6	1,25	2	1,2	1,1	0,4	0,12	8000	0,9	0,8	18	60
2	$2,3 \cdot 10^4$	-0,4	950	4	1,25	0,5	1,25	1,5	1,25	1,15	0,45	0,1	7000	0,8	0,75	20	70
3	$2,4 \cdot 10^4$	-0,5	950	4	1,35	0,5	1,2	1,5	1,3	1,2	0,5	0,1	7500	0,85	0,75	19	65
4	$2,0 \cdot 10^4$	-0,5	1000	5	1,30	0,5	1,2	1,6	1,25	1,15	0,55	0,12	6500	0,85	0,8	24	70
5	$2,0 \cdot 10^4$	-0,5	1050	5	1,25	0,6	1,3	1,6	1,25	1,1	0,55	0,14	7000	0,75	0,75	20	70
6	$2 \cdot 10^6$	-0,4	1500	6	1,25	0,65	1,3	1,3	1,3	1,2	0,6	0,1	8000	0,85	0,8	22	110
7	$2 \cdot 10^5$	-0,3	1600	6	1,3	0,5	1,25	1,4	1,2	1,1	0,5	0,08	7000	0,8	0,8	23	110
8	$1 \cdot 10^7$	-0,25	1800	7	1,3	0,45	1,3	1,5	1,2	1,1	0,5	0,09	8000	0,85	0,8	21	120
9	$0,8 \cdot 10^7$	-0,25	2000	7	1,35	0,55	1,3	1,45	1,3	1,2	0,55	0,1	7500	0,75	0,85	22	110
10	$1,1 \cdot 10^7$	-0,5	2200	10	1,35	0,5	1,4	1,35	1,3	1,15	0,55	0,11	8500	0,8	0,85	22	110

Таблица П2 – Исходные данные для машины с исполнительным органом «цепной бар»

Ва- ри- ант	$c_1$ , Вт·с/м <sup>3</sup>	$c_2$ , Вт·с/м <sup>3</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	$k_p$	$k_{\gamma}$	$k_N$	$k_Q$	$B$ , м	$H$ , м	$H_n$ , м	$h_p$ , м	$l$ , м	$\alpha$ , град	$m$ , кг	$\eta$	$\eta_1$	$\eta_2$	$N_g$ , кВт
1	$2,5 \cdot 10^4$	-0,4	1100	5	1,25	0,3	1,1	1,4	0,08	1,4	1,4	0,05	0,2	75	5600	0,75	0,8	0,9	45
2	$2,0 \cdot 10^4$	-0,5	950	3	1,3	0,4	1,2	1,5	0,1	1,5	1,5	0,06	0,21	85	6000	0,85	0,75	0,9	50
3	$2,1 \cdot 10^4$	-0,5	900	5	1,35	0,35	1,25	1,6	0,1	1,8	1,8	0,04	0,25	60	7000	0,9	0,8	0,95	60
4	$2,2 \cdot 10^4$	-0,5	1050	3	1,15	0,45	1,3	1,6	0,12	1,6	1,6	0,05	0,35	60	7000	0,75	0,7	0,95	65
5	$1,9 \cdot 10^4$	-0,5	1000	4	1,2	0,5	1,3	1,7	0,12	1,6	1,6	0,06	0,3	65	8000	0,85	0,8	0,95	60
6	$1,1 \cdot 10^6$	-0,4	2100	5	1,35	0,5	1,35	1,8	0,14	1,4	1,4	0,05	0,35	75	13 000	0,8	0,8	0,9	80
7	$0,8 \cdot 10^6$	-0,4	2200	7	1,35	0,45	1,4	1,9	0,14	1,2	1,2	0,06	0,4	80	14 000	0,85	0,8	0,95	85
8	$0,7 \cdot 10^6$	-0,5	2300	8	1,25	0,6	1,25	2,0	0,16	1,2	1,2	0,07	0,45	75	15 000	0,9	0,85	0,9	90
9	$0,4 \cdot 10^6$	-0,4	2200	10	1,3	0,55	1,35	2,0	0,18	1,2	1,2	0,06	0,5	80	16 000	0,9	0,9	0,95	95
10	$1,2 \cdot 10^6$	-0,5	2100	9	1,13	0,5	1,3	1,8	0,16	1,3	1,3	0,06	0,45	75	15 000	0,85	0,85	0,9	100

Таблица ПЗ – Исходные данные для машины с исполнительным органом «шнек-фреза»

Вариант	$c_1$ , Вт·с/м <sup>3</sup>	$c_2$ , Вт·с/м <sup>3</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	$k_p$	$k_{IV}$	$k_N$	$k_Q$	$B$ , м	$H$ , м	$D$ , м	$D_{no}$ , м	$d$ , м	$h_{bs}$ , м	$\psi$	$\eta$	$\eta_1$	$f$	$f_1$	$m$ , кг	$N_{ex}$ , кВт
1	$0,5 \cdot 10^6$	-0,25	2000	3	1,2	0,2	1,2	2,0	0,8	1,3	1,3	1,2	0,4	0,7	0,8	0,9	0,85	0,4	0,6	8000	300
2	$1 \cdot 10^7$	-0,3	2500	5	1,25	0,3	1,3	2,0	0,85	1,5	1,5	1,45	0,4	0,45	0,75	0,95	0,8	0,45	0,5	9000	250
3	$2 \cdot 10^7$	-0,3	2100	6	1,3	0,3	1,4	1,5	0,9	1,2	1,2	1,1	0,3	0,4	0,7	0,8	0,85	0,5	0,6	12 000	300
4	$2 \cdot 10^7$	-0,4	2100	7	1,35	0,4	1,5	1,6	1	1,25	1,25	1,2	0,35	0,4	0,6	0,8	0,8	0,45	0,6	11 000	310
5	$2 \cdot 10^4$	-0,5	1100	6	1,3	0,25	1,5	1,7	4	0,25	0,7	0,7	0,25	0,35	0,5	0,75	0,9	0,4	0,5	7000	90
6	$2,5 \cdot 10^4$	-0,45	1200	5	1,25	0,75	1,4	1,8	5	0,45	1	1	0,2	0,4	0,55	0,85	0,8	0,5	0,6	7500	30
7	$2,5 \cdot 10^4$	-0,5	1100	4	1,5	0,65	1,3	1,75	6	0,3	0,7	0,7	0,25	0,35	0,4	0,85	0,85	0,55	0,6	7000	70
8	$2,5 \cdot 10^4$	-0,5	1100	5	1,4	0,5	1,35	1,75	6	0,2	0,75	0,75	0,2	0,4	0,45	0,8	0,8	0,5	0,65	7000	90
9	$2,5 \cdot 10^4$	-0,5	950	6	1,3	0,6	1,45	1,8	5	0,4	1	1	0,3	0,45	0,25	0,8	0,9	0,45	0,6	6500	95
10	$2 \cdot 10^7$	-0,35	1600	8	1,2	0,7	1,5	1,9	0,8	1,1	1,1	1,05	0,3	0,45	0,3	0,9	0,8	0,4	0,4	14000	300

Таблица П4 – Исходные данные для машины с исполнительным органом «ковшовая рама»

Вариант	$c_1$ , Вт·с/м <sup>3</sup>	$c_2$ , Вт·с/м <sup>3</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	$k_p$	$k_V$	$k_N$	$k_Q$	$\alpha$ , град	$H$ , м	$B$ , м	$t$ , м	$V_{кс}$ , м <sup>3</sup>	$\eta$	$\eta_1$	$\eta_2$	$m$ , кг	$N_{гс}$ , кВт
1	$1 \cdot 10^7$	-0,5	2500	5	1,35	1,1	1,2	2,0	85	5	0,4	0,8	0,3	0,85	0,8	0,9	20 000	105
2	$0,5 \cdot 10^7$	-0,4	2400	5	1,25	0,6	1,3	2,0	90	6	0,5	1	0,35	0,8	0,85	0,85	21 000	110
3	$0,6 \cdot 10^7$	-0,35	2300	6	1,25	0,7	1,4	1,5	85	7	0,35	0,7	0,4	0,85	0,8	0,8	22 000	100
4	$0,8 \cdot 10^7$	-0,25	2200	6	1,35	0,8	1,5	1,6	70	7	0,4	0,7	0,25	0,9	0,8	0,9	25 000	110
5	$1,1 \cdot 10^6$	-0,3	2100	7	1,35	0,9	1,5	1,7	80	6	0,45	1,0	0,5	0,75	0,85	0,95	15 000	115
6	$1,2 \cdot 10^6$	-0,45	2000	7	1,2	1,0	1,4	1,8	75	3	0,5	1,1	0,5	0,8	0,85	0,95	14 000	85
7	$2 \cdot 10^3$	-0,5	1000	10	1,15	0,9	1,3	1,75	65	5	0,45	0,9	0,45	0,85	0,8	0,9	10 000	90
8	$2,5 \cdot 10^4$	-0,5	1050	10	1,2	0,85	1,35	1,75	60	4	0,4	0,9	0,4	0,85	0,7	0,85	11 000	85
9	$1,8 \cdot 10^4$	-0,45	950	8	1,25	0,9	1,45	1,8	65	4,5	0,6	1,0	0,6	0,8	0,8	0,8	9 000	75
10	$1,9 \cdot 10^4$	-0,45	1000	8	1,3	0,7	1,5	1,9	70	4,5	0,5	1,0	0,5	0,8	0,75	0,75	8 000	70

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем / В. П. Тарасик. – Минск : ДизайнПРО, 2004. – 639 с.
2. Богатов, Б. А. Математические методы и модели в горном деле / Б. А. Богатов. – Минск : Технопринт, 2003. – 273 с.
3. Волков, Е. А. Численные методы / Е. А. Волков. – М. : Наука, 1982. – 254 с.
4. Демидович, В. П. Основы вычислительной математики / В. П. Демидович, И. А. Марон. – М. : Наука, 1966. – 664 с.
5. Полуниин, И. Ф. Курс математического программирования / И. Ф. Полуниин. – Минск : Вышэйшая школа, 1975. – 351 с.
6. Турчак, А. И. Основы численных методов / А. И. Турчак. – М. : Наука, 1987. – 320 с.
7. Опейко, Ф. А. Торфяные машины / Ф. А. Опейко. – Минск : Вышэйшая школа, 1968. – 408 с.
8. Казаченко, Г. В. Моделирование и анализ исполнительных органов оборудования : лабораторные работы : в 3 ч. / Г. В. Казаченко. – Минск : БГПА, 2001. – Ч. 1. Моделирование и численный анализ в горном деле. – 2001. – 37 с.

Учебное издание

**КАЗАЧЕНКО** Георгий Васильевич  
**ШУЛЬДОВА** Светлана Георгиевна

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ  
В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Методическое пособие  
по выполнению курсовой работы  
для студентов специальностей  
1-36 10 01 «Горные машины и оборудование»  
и 1-36 13 01 «Технология и оборудование  
торфяного производства»

Редактор *Т. А. Панкрат*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 21.01.2015. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 1,74. Уч.-изд. л. 1,35. Тираж 100. Заказ 1050.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.



