



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

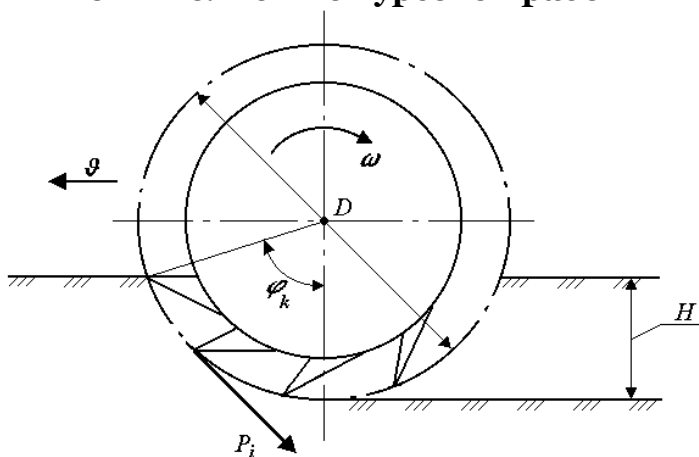
Белорусский национальный
технический университет

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/м³;

η – 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;

η_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;

η_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;

φ – 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 ρ – плотность породы, кг/м³;

H_n – высота подъема породы исполнительным органом, м;

η_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.

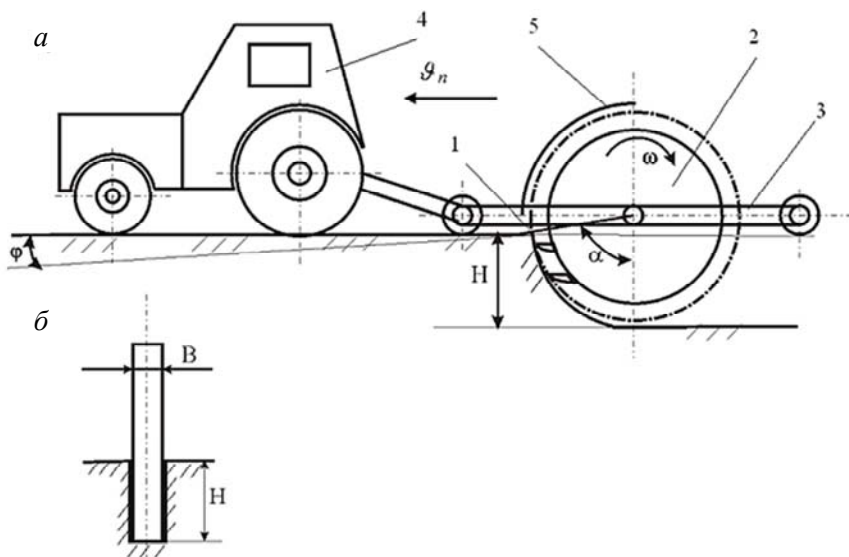


Рисунок 2.1 – Расчетная схема прицепного агрегата с исполнительным органом в виде дисковой фрезы:
a – вид сбоку; *б* – сечение выработки;
 1 – резец; 2 – дисковая фреза; 3 – рама, 4 – тягач;
 5 – направляющий козлук

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

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

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;

k_{Π} – коэффициент пропорциональности;

$Q_x = B \cdot H \cdot \mathfrak{S}_{\Pi}$ – производительность по ходу, м³/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 $h = \frac{\mathfrak{S} \cdot 4 \cdot \pi}{\omega \cdot z} \cdot \sin \alpha$ – максимальная толщина стружки, снимаемой резцами фрезы;

ω – 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 ϑ_n и ω , 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.

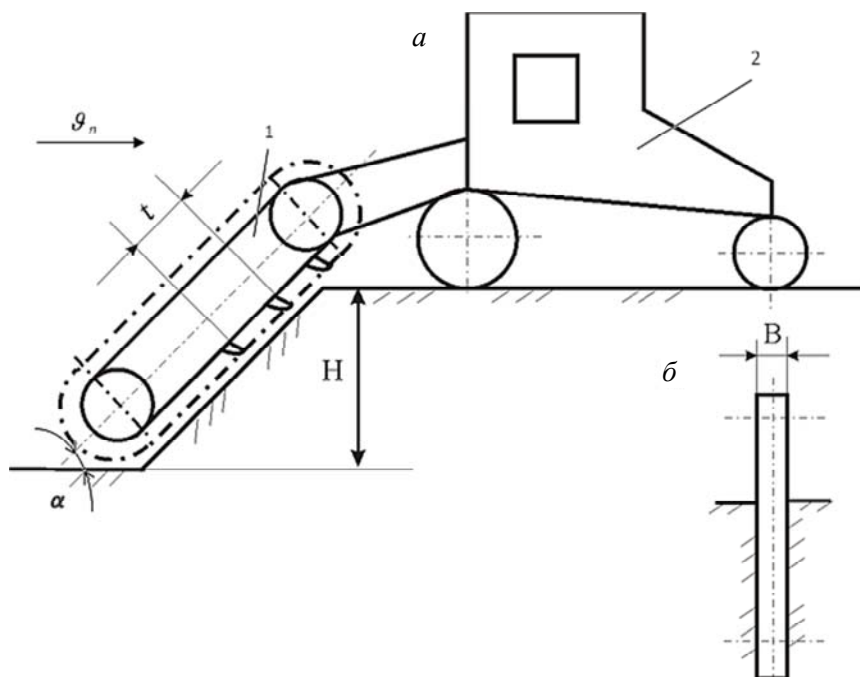


Рисунок 2.2 – Расчетная схема машины с исполнительным органом в виде цепного бара:

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;

α – 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;

η_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 η_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.

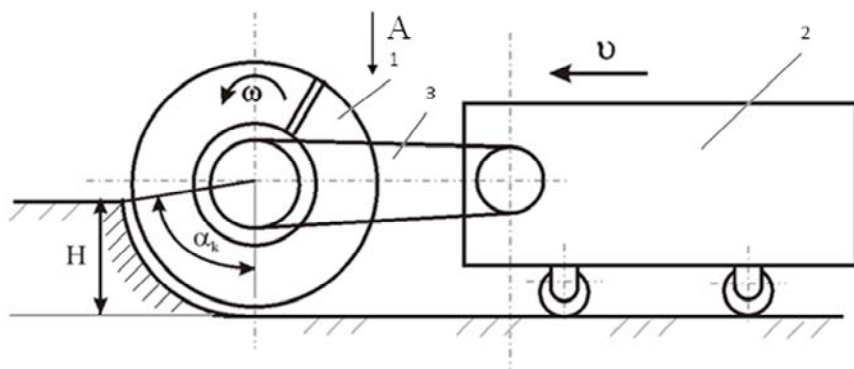
Остальные величины и коэффициенты имеют смысл, описанный ранее.

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 

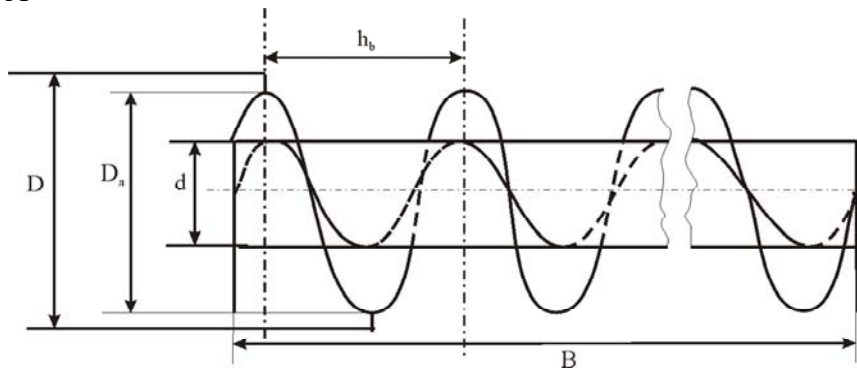


Рисунок 2.3 – Расчетная схема машины с исполнительным органом в виде шнек-фрезы:

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 ϑ_{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 Ψ – 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.

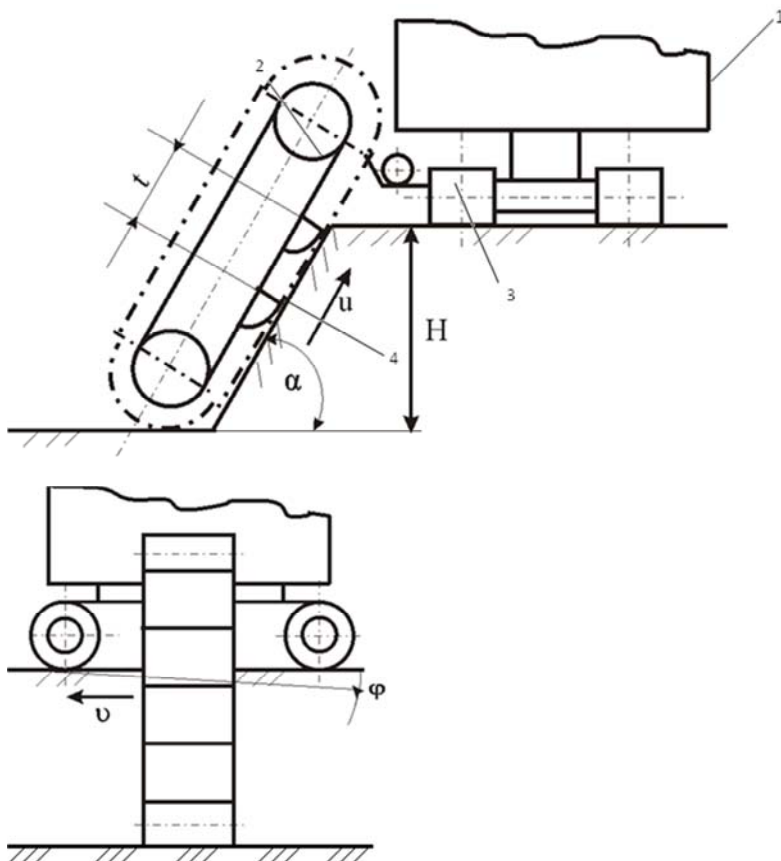


Рисунок 2.4 – Расчетная схема машины с исполнительным органом в виде ковшовой рамы:

- 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

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

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_{II} сил сопротивления подаче выражениями

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

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

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 полуторным 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 (≈ 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 ³	c_2 , Вт·с/м ³	ρ , кг/м ³	φ , град	k_p	k_V	k_N	k_Q	D , м	d , м	H , м	B , м	m , кг	h , м	η_1	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 ³	c_2 , Вт·с/м ³	ρ , кг/м ³	φ , град	k_p	k_{γ}	k_N	k_Q	B , м	H , м	H_{np} , м	h_p , м	l , м	α , град	m , кг	η	η_1	η_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 ³	c_2 , Вт·с/м ³	ρ , кг/м ³	φ , град	k_p	k_{IV}	k_N	k_Q	B , м	H , м	D , м	D_{no} , м	d , м	h_{bs} , м	ψ	η	η_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 ³	c_2 , Вт·с/м ³	ρ , кг/м ³	φ , град	k_p	k_V	k_N	k_Q	α , град	H , м	B , м	t , м	$V_{кс}$, м ³	η	η_1	η_2	m , кг	$N_{гэ}$, 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 ¹/₁₆. 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.

