Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. XXXV, вып. 1, 1957 г.

НАГРУЗОЧНЫЕ ДИАГРАММЫ И ВЫБОР МОЩНОСТИ ГЛАВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МНОГОЧЕРПАКОВЫХ ДРАГ

Л. Ф. Шклярский

Многочерпаковые электродраги представляют собой мощные плавучие агрегаты, работающие на россыпных месторождениях по добыче золота, платины и других полезных ископаемых. Режимы работы электроприводов основных механизмов драги изучены пока недостаточно.

В настоящей статье в результате анализа построенных и снятых с натуры нагрузочных диаграмм предлагается возможная методика выбора мощности главного электродвигателя драги — двигателя ее черпаковой цепи.

I. Нагрузочные диаграммы за время шага и шлейфа

Во время работы черпаковое устройство драги преодолевает ряд полезных и вредных статических сопротивлений:

а) сопротивление копанию грунта — $F_к$;

б) сопротивление подъему грунта со дна россыпи до верхнего барабана — $F_{гр}$;

в) сопротивление перемещению черпаков — $F_{ч.\,п}$;

г) сопротивление трению в движущихся частях, учитываемое соответственными коэффициентами.

Сопротивление копанию грунта одним черпаком или усилие копания (*кг*) может быть определено по данным теории резания грунтов [1]:

$$F_к = F_р + F_{сж} + F_{п.\,в} + F_ч, \tag{1}$$

где $F_р$ — усилие резания;
$F_{сж}$ — усилие сжатия срезаемой стружки;
$F_{п.\,в}$ — усилие призмы волочения;
$F_ч$ — усилие трения черпака о грунт.
Причем

$$F_р = Ch^{1,35}(1 + 2{,}6l)(1 + 0{,}0075\alpha)(1 + 0{,}03S), \tag{2}$$

где C — относительная плотность грунта, по данным динамического плотномера ДОРНИИ;
h — глубина резания, *см*;

l — длина режущей кромки черпака, *см*·
α — угол резания, град.;
S — толщина козырька черпака, *см*;

$$F_{сж} = K_{сж} s_1, \tag{3}$$

где $K_{сж}$ — сопротивление стружки грунта продольному сжатию, *кг/см*^{2};
s_1 — площадь поперечного сечения стружки, *см*^{2};

$$F_{п.в} = q\gamma \operatorname{tg}\rho, \tag{4}$$

где q — объем призмы волочения грунта, *м*^{3};
γ — удельный вес грунта, *кг/м*^{3};
$\operatorname{tg}\rho$ — коэффициент внутреннего трения грунта;

$$F_{ч} = Gf, \tag{5}$$

где G — вес черпака, *кг*;
f — коэффициент трения грунта о сталь.

Сопротивление или усилие подъема грунта может быть определено на основании следующего выражения [4][1]:

$$F_{гр} = \frac{0{,}278Q}{V_ч}[(\gamma - \gamma_1)h_1 + \gamma h_2], \tag{6}$$

где Q — действительная производительность драги, *м*^{3}*/час*;
$V_ч$ — скорость движения черпаковой цепи, *м/сек*;
γ — удельный вес мокрого грунта, *г/см*^{3};
γ_1 — удельный вес забортной воды, *г/см*^{3};
h_1 — глубина погружения черпаковой рамы (глубина черпания), *м*;
h_2 — высота подъема грунта над уровнем воды, *м*.

Сопротивление или усилие перемещения черпаков [4]

$$F_ч = p[1{,}1(kl_р + 1{,}1y_1) - y_2], \tag{7}$$

где p — вес 1 *пог. м* черпаковой цепи, *кг/м*;
k — коэффициент, зависящий от конструкции черпаковой цепи;
$l_р$ — длина черпаковой рамы, *м*;
y_1 и y_2 — ординаты точек подвеса провисающей части черпаковой цепи, *м*[2].

Применительно к драгам, составляющие усилия копания $F_к$ требуют некоторого уточнения. Если усилие резания $F_р$ можно принять неизменным во время наполнения черпака, то усилия $F_{сж}$ и $F_{п.в}$ будут зависеть от пути и времени наполнения $t_н$. Так как для драг указанные зависимости в литературе отсутствуют, то приходится выводить их, пользуясь экспериментальными данными испытаний скреперов [1], принимая во внимание близкую аналогию условий заполнения ковша драги и скрепера. Поэтому можно принять прямолинейную зависимость усилий $F_{сж}$ и $F_{п.в}$ от времени[3]

$$F_{сж} = K_{сж} s_1 \frac{t}{t_н}; \tag{8}$$

$$F_{п.в} = q\gamma \operatorname{tg}\rho \frac{t}{t_н}. \tag{9}$$

---

[1] Приведенное в диссертации А. А. Лукашевича выражение для определения мощности преобразовано нами для определения усилия.

[2] Провисающая часть черпаковой цепи представляет собой цепную линию.

[3] Так как скорость движения черпаковой цепи $V_ч$ при работе драги постоянна, то путь и время прямо пропорциональны.

Усилие $F_ч$ (трение черпака о грунт) является также функцией времени, причем при $t=0$, т. е. с момента „входа" черпака *4* в шлейф[1] (рис. 1) и при последующем его перемещении на величину шага $l_ш$ ($l_ш$ — расстояние между двумя соседними черпаками), что соответствует времени шага $t_ш$, вес черпака оказывает все возрастающее давление на грунт. Давление достигает максимума при $t=t_ш$. Для этого отрезка времени можно принять зависимость

$$F_ч = Gf\frac{t}{t_ш}. \qquad (10)$$

С этого момента давление черпака на грунт остается постоянным. При „выходе" черпака из шлейфа наблюдается обратное явление. С момента времени $t=t_{шф}-t_ш$ ($t_{шф}$ — время прохождения шлейфа

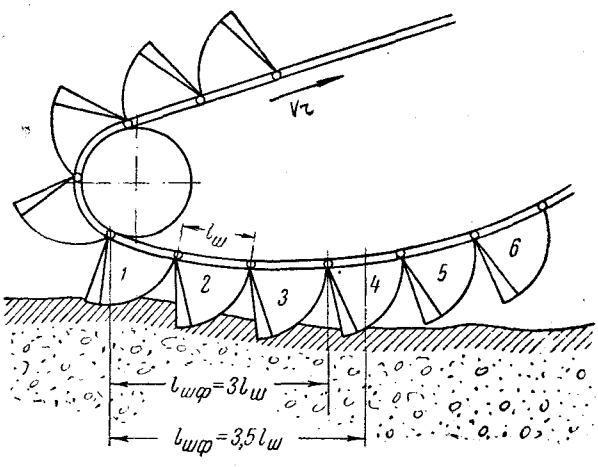


Рис. 1.

одним черпаком) и до момента $t=t_{шф}$ черпак *2*, постепенно приподнимаясь, „выходит" из шлейфа и находит на нижний барабан (черпак *1*), поэтому можно считать, что усилие $F_ч$ в течение этого времени, постепенно убывая, обращается в нуль в момент „выхода" черпака из шлейфа (черпак *1*). Так как зависимость $F_ч=f(t)$ за время $t_{шф}$ представляет собой, как видно, разрывную функцию, то единое аналитическое выражение ее представить довольно сложно, поэтому за время от $t=t_{шф}-t_ш$ до $t=t_{шф}$ можно принять

$$F_ч = Gf\frac{t_ш - t}{t_ш}. \qquad (10')$$

Как отмечалось выше, выражением (1) может быть определено усилие копания одного черпака. На практике в пределах шлейфа находится обычно несколько черпаков, причем, в зависимости от условий драгирования, в шлейфе может быть как целое, так и дробное число черпаков

[1] Шлейфом называется часть свисающей ветви черпаковой цепи, в пределах которой черпаки имеют непосредственное соприкосновение с разрабатываемым грунтом. Во время работы драг число черпаков в шлейфе (от 2 до 5) зависит от величины подшагивания драги, глубины посадки черпаковой рамы, характера россыпи, натяжения черпаковой цепи и пр. [5].

(рис. 1). Как выяснилось, усилие копания одного черпака, являясь функцией времени, зависит, в частности, от его положения в шлейфе. При определении суммарного усилия копания было бы неправильным просто суммировать усилия копания всех черпаков, находящихся в шлейфе, без учета положения каждого черпака в последнем. Поэтому суммарное усилие копания драги определялось нами методом наложения во времени усилий копания черпаков шлейфа.

Следует отметить, что при данных значениях погружения рамы черпакового устройства h_1, коэффициента наполнения черпаков $a_н$ и скорости черпаковой цепи $V_ч$ усилия подъема грунта $F_{гр}$ и перемещения черпаков $F_{ч.\,п}$ являются постоянными.

Таким образом, при построении диаграммы усилий $F = f(t)$, отнесенной к верхнему (ведущему) барабану драги, можно пользоваться выражениями (1), (2), (6)—(10), (10′). Такое построение диаграмм усилий для различных условий драгирования произведено нами для драги с емкостью черпака 210 *л* (0,21 $м^3$; рис. 2—5).

Усилия копания одного черпака в наиболее характерные моменты нахождения его в шлейфе определялись на основании приведенных выше выражений:

$$1)\ t=0;\quad F_{k_0}=F_р; \tag{11}$$

$$2)\ t=t_ш;\quad F_{k_{t_ш}}=F_р+K_{сж}s_1\frac{t_ш}{t_н}+q\gamma\,\mathrm{tg}\,\rho\,\frac{t_ш}{t_н}+Gf; \tag{12}$$

$$3)\ t=t_н;\quad F_{k_{t_н}}=F_р+K_{сж}s_1+q\gamma\,\mathrm{tg}\,\rho+Gf; \tag{13}$$

$$4)\ t=t_{шф}-t_ш;\quad F_{k_{t_{шф}}}=F_р+K_{сж}s_1+q\gamma\,\mathrm{tg}\,\rho+Gf; \tag{14}$$

$$5)\ t=t_{шф};\quad F_{k_{t_{шф}}}=F_р+F_{сж}s_1+q\gamma\,\mathrm{tg}\,\rho. \tag{15}$$

На рис. 2—5 представлены диаграммы усилий копания для каждого черпака шлейфа в отдельности. Номера черпаков на рис. 1 и на рис. 2—5 согласованы. На тех же рисунках внизу приведены диаграммы усилий черпакового устройства, полученные в результате сложения усилий копания черпаков с усилиями на подъем грунта и перемещение черпаков. На основании анализа графически построенных диаграмм усилий получены аналитические выражения для определения усилий в наиболее характерных точках.

1. Для шлейфа, равного трем черпакам ($i=3$)

Легкий грунт (I класс)[1] *при* $t_{шф}-t_ш>t_н$ (рис. 2):

$$1)\ t=0;\quad F_a=4F_р+F_{сж}\left(2+\frac{t_ш}{t_н}\right)+$$

$$+F_{п.\,в}\left(2+\frac{t_ш}{t_н}\right)+2F_ч+F_{гр}+F_{ч.\,п}; \tag{16}$$

[1] По классификации грунтов для дражных работ, где все грунты разбиты на шесть классов [5].

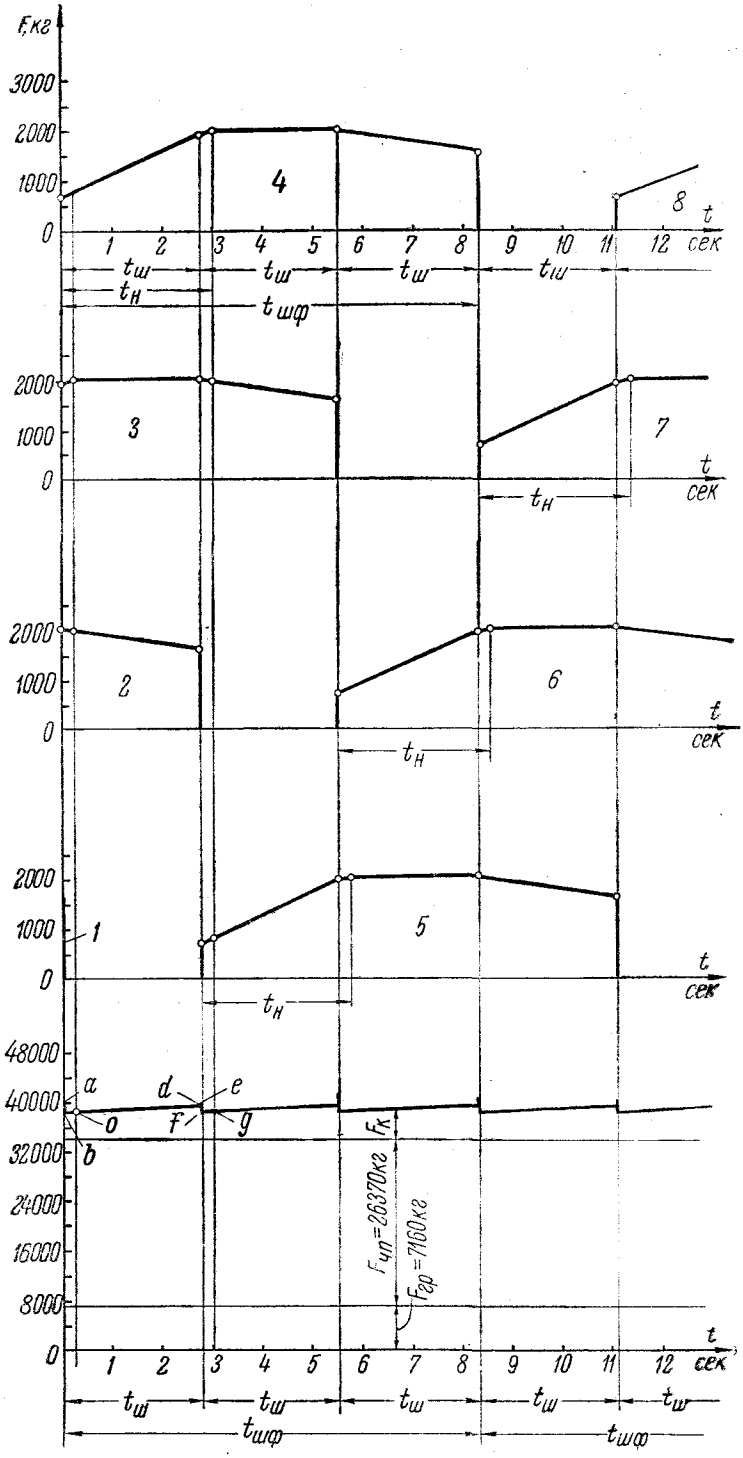

F,кг
3000
2000
1000
0
4
8
t
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 сек
$t_ш$
$t_ш$
$t_ш$
$t_ш$
$t_н$
$t_{шф}$
2000
1000
0
3
7
t
сек
$t_н$
2000
1000
0
2
6
t
сек
$t_н$
2000
1000
0
1
5
t
сек
$t_н$
48000
40000
32000
24000
16000
8000
0
a
d
e
o
f
g
b
$F_к$
$F_{чп}$=26370кг
$F_{ср}$=7160кг
t
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 сек
$t_ш$
$t_ш$
$t_ш$
$t_ш$
$t_ш$
$t_{шф}$
$t_{шф}$

Рис. 2.

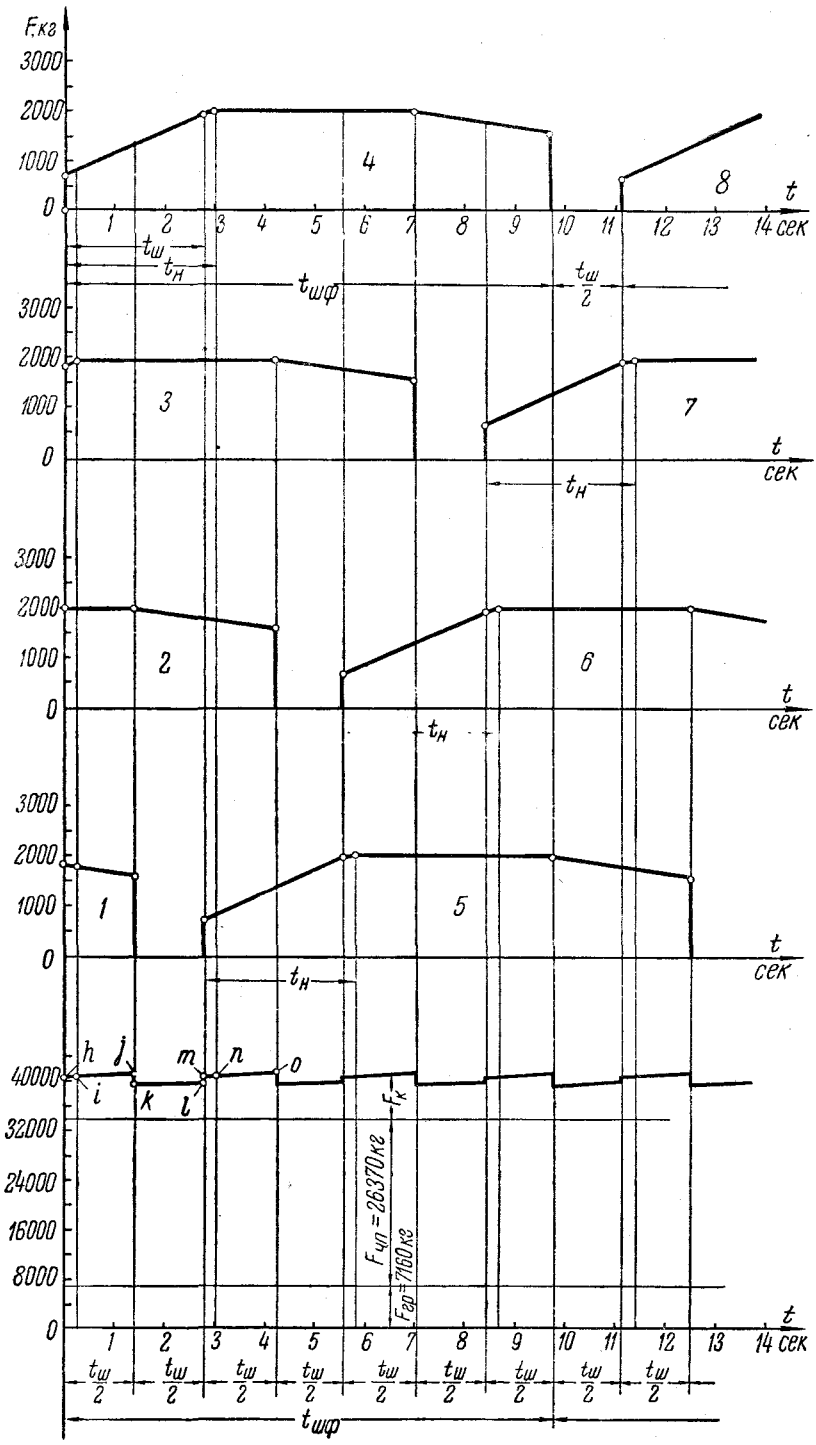

F,кг
3000
2000
1000
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 сек
t
4
8
3
7
2
6
1
5
$t_ш$
$t_н$
$t_{шф}$
$\frac{t_ш}{2}$
h
j
m
n
o
i
k
l
40000
32000
24000
16000
8000
$F_к$
$F_{чп}$=26370кг
$F_{ар}$=7100кг

Рис. 3.

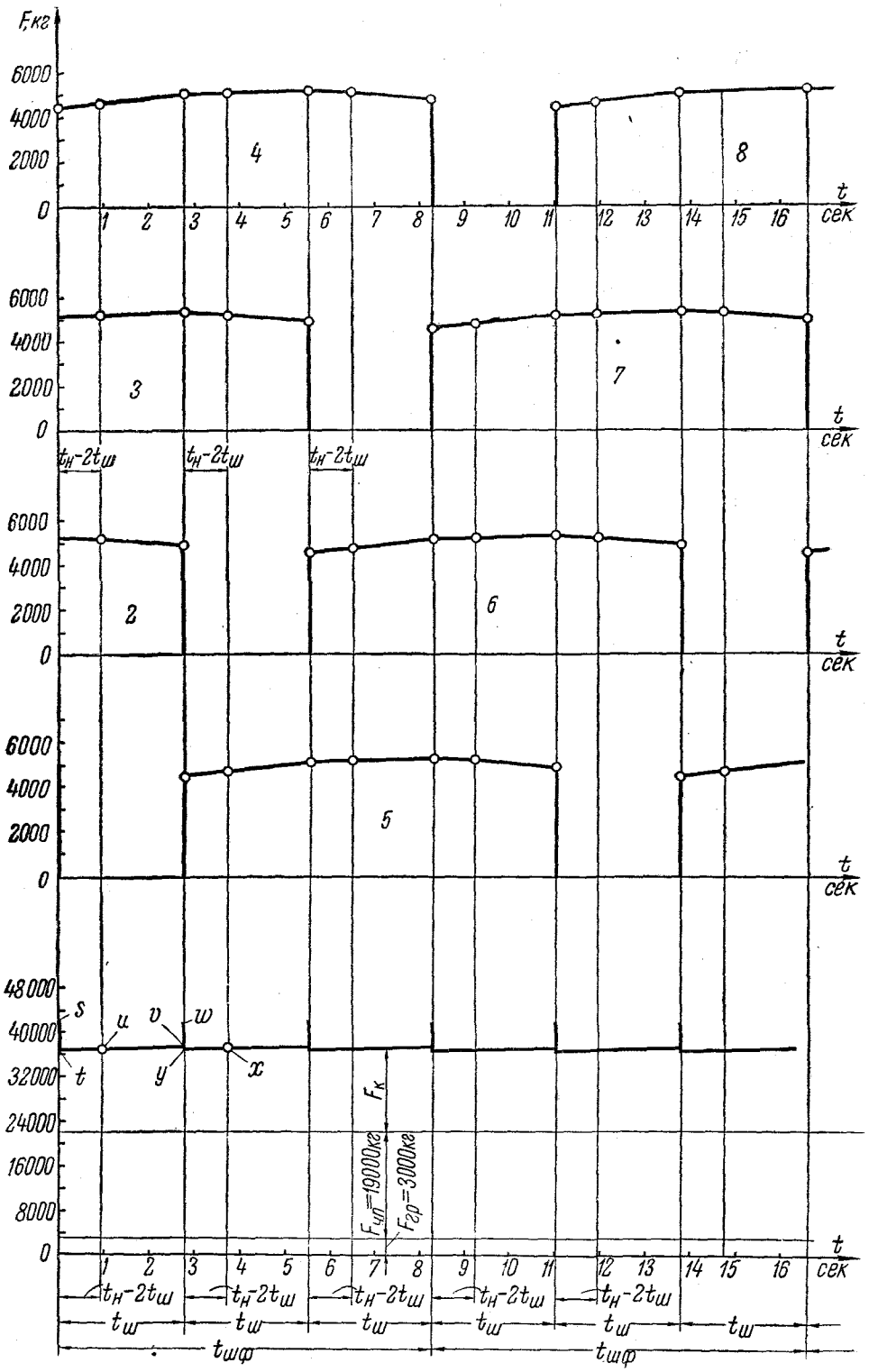

F,кг
6000
4000
2000
0
4
8
3
7
2
6
5
t
сек
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
$t_н-2t_ш$
48000
40000
32000
24000
16000
8000
s
u
v
w
t
y
x
$F_к$
$F_{чп}$=19000кг
$F_{гр}$=3000кг
$t_ш$
$t_{шф}$

Рис. 4.

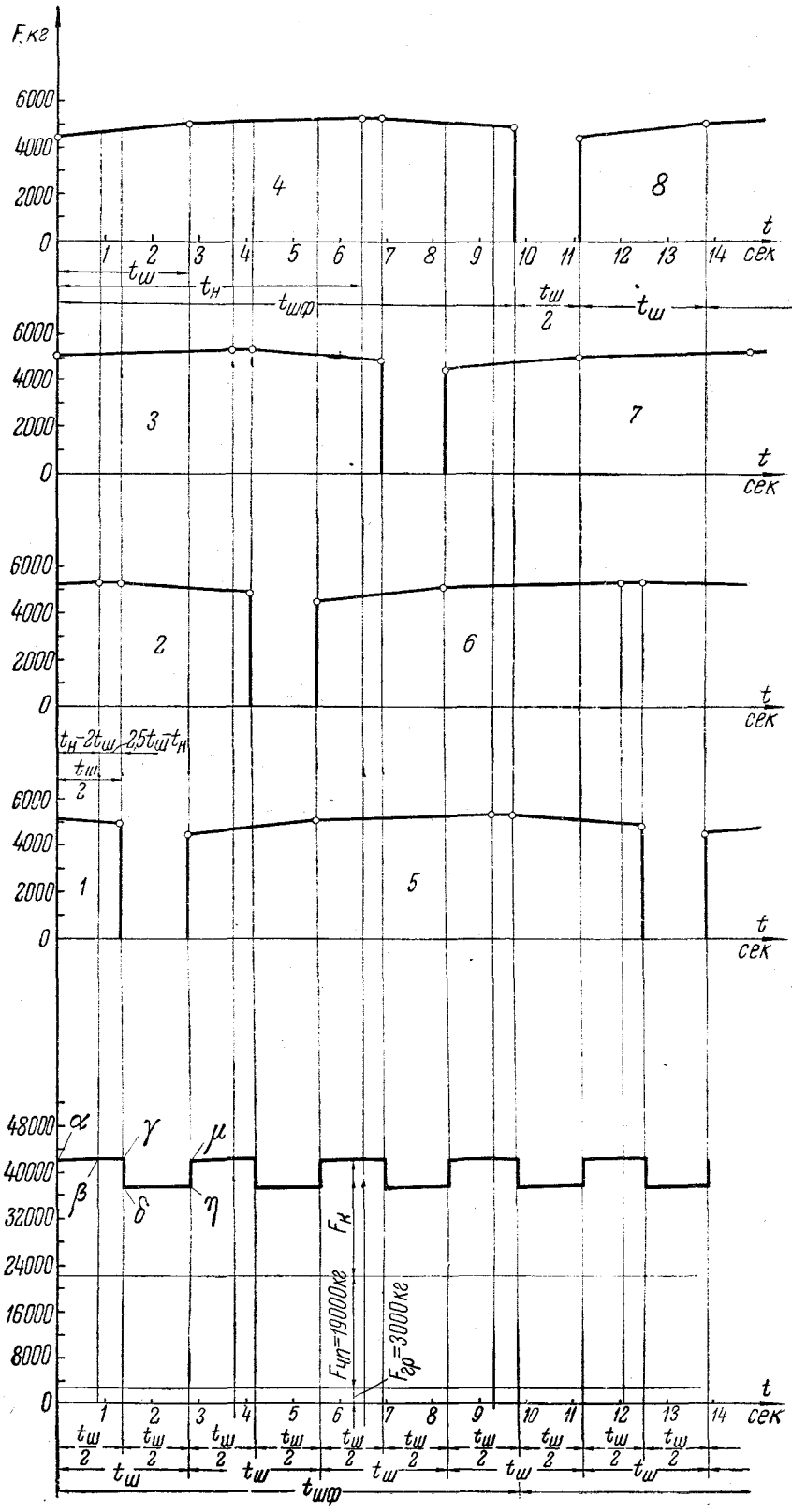

F, кг
6000
4000
2000
0
4
8
t
сек
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
$t_ш$
$t_н$
$t_{шф}$
$\frac{t_ш}{2}$
$t_ш$
3
7
2
6
1
5
$t_н - 2t_ш$
$2{,}5t_ш - t_н$
$\frac{t_ш}{2}$
48000
40000
32000
24000
16000
8000
α
β
γ
δ
μ
η
$F_к$
$F_{чп}$=19000кг
$F_{ср}$=3000кг

Рис 5.

$$2)\ t=0;\quad F_b=3F_{\text{р}}+F_{\text{сж}}\left(1+\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+$$

$$+F_{\text{п. в}}\left(1+\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+2F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}};\qquad(17)$$

$$3)\ t=t_{\text{н}}-t_{\text{ш}};\quad F_c=3F_{\text{р}}+F_{\text{сж}}\left(3-\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+$$

$$+F_{\text{п. в}}\left(3-\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+2F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}};\qquad(18)$$

$$4)\ t=t_{\text{ш}};\quad F_d=3F_{\text{р}}+F_{\text{сж}}\left(2+\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+$$

$$+F_{\text{п. в}}\left(2+\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+2F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}};\qquad(19)$$

$$5)\ t=t_{\text{ш}};\quad F_e=4F_p+F_{\text{сж}}\left(2+\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+$$

$$+F_{\text{п. в}}\left(2+\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}};\qquad(20)$$

$$6)\ t=t_{\text{ш}};\quad F_f=3F_{\text{р}}+F_{\text{сж}}\left(1+\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+$$

$$+F_{\text{п. в}}\left(1+\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+2F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}}.\qquad(21)$$

Как видно из приведенных выражений, при $t>t_{\text{ш}}$ выражения усилий повторяются.

Тяжелый (каменистый) грунт (V класс) при $t_{\text{шф}}-t_{\text{ш}}<t_{\text{н}}$ (рис. 4):

$$1)\ t=0;\quad F_s=4F_{\text{р}}+F_{\text{сж}}\left(1+3\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{и}}}\right)+$$

$$+F_{\text{п. в}}\left(1+3\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+2F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}};\qquad(22)$$

$$2)\ t=0;\quad F_t=3F_{\text{р}}+3F_{\text{сж}}\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}+$$

$$+3F_{\text{п. в}}\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}+2F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}};\qquad(23)$$

$$3)\ t=t_{\text{н}}-2t_{\text{ш}};\quad F_u=3F_{\text{р}}+3F_{\text{сж}}\left(1-\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+$$

$$+3F_{\text{п. в}}\left(1-\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+2F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}};\qquad(24)$$

$$4)\ t=t_{\text{ш}};\quad F_v=3F_{\text{р}}+F_{\text{сж}}\left(1+3\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+$$

$$+F_{\text{п. в}}\left(1+3\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+2F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}};\qquad(25)$$

$$5)\ t=t_{\text{ш}};\quad F_w=4F_{\text{р}}+F_{\text{сж}}\left(1+3\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+$$

$$+F_{\text{п. в}}\left(1+3\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+2F_{\text{ч}}+F_{\text{гр}}+F_{\text{ч. п}};\qquad(26)$$

$$6)\ t=t_{\text{н}}-t_{\text{ш}};\quad F_x=3F_{\text{р}}+3F_{\text{сж}}\left(1-\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right)+$$

$$+ 3F_{\text{п. в}}\left(1 - \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + 2F_{\text{ч}} + F_{\text{гр}} + F_{\text{ч. п}}. \qquad (27)$$

При $t > t_{\text{ш}}$ выражения усилий также повторяются.

2. Для шлейфа, равного дробному числу черпаков ($i = 3{,}5$) [1]

Легкий грунт (I класс) при $t_{\text{шф}} - t_{\text{ш}} > t_{\text{н}}$ (рис. 3):

$$1)\ t = 0;\quad F_h = 4F_{\text{р}} + F_{\text{сж}}\left(2 + \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + + F_{\text{п. в}}\left(2 + \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + 2{,}5F_{\text{ч}} + F_{\text{гр}} + F_{\text{ч. п}}; \qquad (28)$$

$$2)\ t = t_{\text{н}} - t_{\text{ш}};\quad F_i = 4F_{\text{р}} + F_{\text{сж}}\left(4 - \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + + F_{\text{п. в}}\left(4 - \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + 2{,}5F_{\text{ч}} + F_{\text{гр}} + F_{\text{ч. п}}; \qquad (29)$$

$$3)\ t = 0{,}5t_{\text{ш}};\quad F_j = 4F_{\text{р}} + F_{\text{сж}}\left(3 + 0{,}5\,\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + + F_{\text{п. в}}\left(3 + 0{,}5\,\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + 2{,}5F_{\text{ч}} + F_{\text{гр}} + F_{\text{ч. п}}; \qquad (30)$$

$$4)\ t = 0{,}5t_{\text{ш}};\quad F_k = 3F_{\text{р}} + F_{\text{сж}}\left(2 + 0{,}5\,\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + + F_{\text{п. в}}\left(2 + 0{,}5\,\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + 2{,}5F_{\text{ч}} + F_{\text{гр}} + F_{\text{ч. п}}; \qquad (31)$$

$$5)\ t = t_{\text{ш}};\quad F_e = 3F_{\text{р}} + F_{\text{сж}}\left(2 + \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + + F_{\text{п. в}}\left(2 + \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + 2{,}5F_{\text{ч}} + F_{\text{гр}} + F_{\text{ч. п}}; \qquad (32)$$

$$6)\ t = t_{\text{ш}};\quad F_m = 4F_{\text{р}} + F_{\text{сж}}\left(2 + \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + + F_{\text{п. в}}\left(2 + \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + 2{,}5F_{\text{ч}} + F_{\text{гр}} + F_{\text{ч. п}}; \qquad (33)$$

$$7)\ t = t_{\text{н}};\quad F_n = 4F_{\text{р}} + F_{\text{сж}}\left(4 - \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + + F_{\text{п. в}}\left(4 - \frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + 2{,}5F_{\text{ч}} + F_{\text{гр}} + F_{\text{ч. п}}. \qquad (34)$$

Тяжелый грунт (V класс) при $t_{\text{шф}} - t_{\text{ш}} < t_{\text{н}}$ (рис. 5).

$$1)\ t = 0;\quad F_\alpha = 4F_{\text{р}} + F_{\text{сж}}\left(1 + 3\,\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + + F_{\text{п. в}}\left(1 + 3\,\frac{t_{\text{ш}}}{t_{\text{н}}}\right) + 2{,}5F_{\text{ч}} + F_{\text{гр}} + F_{\text{ч. п}}; \qquad (35)$$

[1] На практике число черпаков в шлейфе может изменяться во время работы драги в зависимости от погружения рамы и неровностей на поверхности драгируемого грунта. В данном случае $t = 3{,}5$ принята, как наиболее вероятная и удобная величина при графическом построении нагрузочных диаграмм при дробном числе черпаков в шлейфе.

$$2)\ t = t_н - 2t_ш;\quad F_в = 4F_р + F_{сж}\left(4 - 3\frac{t_ш}{t_н}\right) + + F_{п.\,в}\left(4 - 3\frac{t_ш}{t_н}\right) + 2{,}5F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п};\qquad (36)$$

$$3)\ t = 0{,}5t_ш;\quad F_г = 4F_р + F_{сж}\left(2 + 2\frac{t_ш}{t_н}\right) + + F_{п.\,в}\left(2 + 2\frac{t_ш}{t_н}\right) + 2{,}5F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п};\qquad (37)$$

$$4)\ t = 0{,}5t_ш;\quad F_д = 3F_р + F_{сж}\left(1 + 2\frac{t_ш}{t_н}\right) + + F_{п.\,в}\left(1 + 2\frac{t_ш}{t_н}\right) + 2{,}5F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п};\qquad (38)$$

$$5)\ t = t_ш;\quad F_е = 3F_р + F_{сж}\left(1 + 3\frac{t_ш}{t_н}\right) + + F_{п.\,в}\left(1 + 3\frac{t_ш}{t_н}\right) + 2{,}5F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п};\qquad (39)$$

$$6)\ t = t_ш;\quad F_ж = 4F_р + F_{сж}\left(1 + 3\frac{t_ш}{t_н}\right) + + F_{п.\,в}\left(1 + 3\frac{t_ш}{t_н}\right) + 2{,}5F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п}.\qquad (40)$$

В результате анализа различных условий драгирования ряда нагрузочных диаграмм, аналогичных приведенным на рис. 2—5, представилось возможным, введя величину i (число черпаков в шлейфе), получить более общие аналитические выражения для целого числа черпаков в шлейфе.

1. При $t_{шф} - t_ш > t_н$, что обычно характерно для легких и средних грунтов (I—IV классов):

$$1)\ t = 0;\quad F_a = (i+1)F_р + \left(i + \frac{t_ш}{t_н} - 1\right)(F_{сж} + F_{п.\,в}) + + (i-1)F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п};\qquad (41)$$

$$2)\ t = 0;\quad F_b = iF_р + \left(i + \frac{t_ш}{t_н} - 2\right)(F_{сж} + F_{п.\,в}) + + (i-1)F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п};\qquad (42)$$

$$3)\ t = t_н - t_ш;\quad F_с = iF_р + \left(i - \frac{t_ш}{t_н}\right)(F_{сж} + F_{п.\,в}) + + (i-1)F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п};\qquad (43)$$

$$4)\ t = t_ш;\quad F_d = iF_р + \left(i + \frac{t_ш}{t_н} - 1\right)(F_{сж} + F_{п.\,в}) + + (i-1)F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п};\qquad (44)$$

$$5)\ t = t_ш;\quad F_e = (i+1)F_р + \left(i + \frac{t_ш}{t_н} - 1\right)(F_{сж} + F_{п.\,в}) + + (i-1)F_ч + F_{гр} + F_{ч.\,п}.\qquad (45)$$

2. При $t_{шф} - t_{ш} < t_{н}$, что обычно характерно для тяжелых грунтов (V, VI классов),

$$1)\ t=0;\quad F_s=(i+1)F_р+\left[i\left(1+\frac{t_ш}{t_н}\right)-2\right](F_{сж}+F_{п.\,в}+$$
$$+(i-1)F_ч+F_{гр}+F_{ч.\,п}; \tag{46}$$

$$2)\ t=0;\quad F_t=i\left[F_р+\frac{t_ш}{t_н}(F_{сж}+F_{п.\,в})\right]+$$
$$+(i-1)F_ч+F_{гр}+F_{ч.\,п}; \tag{47}$$

$$3)\ t=t_н-2t_ш;\quad F_u=i\left[F_р+\left(1-\frac{t_ш}{t_н}\right)(F_{сж}+F_{п.\,в})\right]+$$
$$+(i-1)F_ч+F_{гр}+F_{ч.\,п}; \tag{48}$$

$$4)\ t=t_ш;\quad F_v=iF_р+\left[i\left(1+\frac{t_ш}{t_н}\right)-2\right](F_{сж}+F_{п.\,в})+$$
$$+(i-1)F_ч+F_{гр}+F_{ч.\,п}; \tag{49}$$

$$5)\ t=t_ш;\quad F_w=(i+1)F_р+\left[i\left(1+\frac{t_ш}{t_н}\right)-2\right](F_{сж}+F_{п.\,в})+$$
$$+(i-1)F_ч+F_{гр}+F_{ч.\,п}; \tag{50}$$

$$6)\ t=t_н-t_ш;\quad F_x=i\left[F_р+\left(1-\frac{t_ш}{t_н}\right)(F_{сж}+F_{п.\,в})\right]+$$
$$+(i-1)F_ч+F_{гр}+F_{ч.\,п}. \tag{51}$$

С помощью полученных выражений (41) — (51) можно аналитически определить усилия в соответственные моменты времени, не прибегая к графическим построениям. Попытки получить подобные выражения для дробного числа черпаков в шлейфе приводят к очень громоздким формулам мало пригодным для практики, поэтому в последнем случае проще пользоваться графическим методом. [1]

На основании построенных нагрузочных диаграмм (см. рис. 2—5) и ряда аналогичных диаграмм, не приведенных в данной статье, а также диаграмм, снятых нами в производственных условиях самопишущими приборами (рис. 6), можно сделать ряд выводов о характере нагрузки черпакового устройства драги при непрерывной работе главного привода.

1. При целом числе черпаков в шлейфе (см. рис. 2, 4) нагрузка является длительной и постоянной. Она нарушается периодически повторяющимися пиками, зависящими от классов грунта. Периоды следуют через промежутки времени $t_ш$ (время шага). Наличие пиков нагрузки обусловлено совпадением моментов «входа» черпака в шлейф (см. рис. 1, черпак *4*) и «выхода» черпака из шлейфа (см. рис. 1, черпак *1*). Пики нагрузки в производственных условиях (см. рис. 6) в отдельные моменты значительно отличаются от расчетных (см. рис. 2 и 4). Такое несогласие

[1] При дробном числе черпаков в шлейфе нагрузочная диаграмма черпакового устройства $F=f(t)$ представляет собой разрывную гармоническую функцию (рис. 3, 5). Аналитическое выражение подобной функции, как известно, может быть получено путем разложения ее в ряд Фурье, но так как при этом в точках разрыва получается среднее, а не истинное значение функции, то целесообразность использования данной методики для практических расчетов сомнительна.

объясняется в основном отсутствием исчерпывающих данных о характ ре драгируемых россыпей, недостаточной изученностью неоднородны грунтов в аспекте теории резания, а также рядом случайных причи (валуны, крепежный лес старых выработок и пр.), не учтенных при п строении диаграмм.

2. При дробном числе черпаков в шлейфе (рис. 3 и 5) нагрузка я ляется длительной, но не постоянной. Переменный характер ее завис от класса грунта и числа черпаков в шлейфе. Нагрузка носит периодич ский характер, период которой равен времени шага $t_ш$.

Для данных условий при $i = 3{,}5$, во время $0{,}5t_ш$ нагрузка являет максимальной и постоянной. В последующие $0{,}5t_ш$ постоянство н грузки сохраняется, но она становится минимальной, так как в теч ние $0{,}5t_ш$ в шлейфе „находятся" четыре черпака, а в течение посл дующих $0{,}5t_ш$ — три.

3. По мере погружения черпаковой рамы с $h_1 = 1$ *м* (рис. 2 и до $h_1 = 5$ *м* (рис. 4 и 5) и глуб е усилия подъема грунта $F_{гр}$ и пер мещения черпаков $F_{ч.\,п}$, независимо от категории грунта, уменьшаютс Усилие подъема грунта $F_{гр}$ уменьшается в основном вследствие умен шения коэффициента наполнения $a_н$ черпаков [5]. Усилие перемещен черпаков $F_{ч.\,п}$ уменьшается, как уже отмечалось, вследствие тог что свисающая часть черпаковой цепи представляет собой цепну линию. Если ордината верхней точки ее подвеса y_2 остается практ чески постоянной (см. формулу 7), то ордината нижней точки по веса y_1 по мере погружения рамы опускается и в результате тягов усилие свисающей части цепи уменьшается.

4. Наблюдающееся часто на практике при разработке целиков ув личение нагрузки главного привода драги по мере погружения рам (см. рис. 6) следует относить в основном за счет увеличения усилия к пания $F_к$, которое, хотя и не находится в непосредственной зависимос от глубины погружения черпаковой рамы [формулы (1) и (2)], опред ляется крепостью грунта C.

Как известно, верхние слои россыпей обычно содержат наносны мягкие породы, растительные вещества, затем встречаются пески, сла цы, глина, галька, валуны; еще глубже залегает плотик россыпи. Таки образом, крепость пород почти всегда с погружением возрастает; след вательно, увеличивается и нагрузка электродвигателя черпаковой це (при $V_ч = \text{const}$). Особенно резко выраженный пиковый характер н грузка носит при задирке плотика, что наглядно видно на нагрузочн диаграмме (см. рис. 6 при $h_1 = 5$ *м*).

5. В зависимости от условий драгирования, класса грунта усил копания $F_к$ по отношению к полному усилию F черпаковой цепи соста ляет от 12—17% (см. рис. 2 и 3, легкий грунт) до 35—47% (см. рис. и 5, тяжелый грунт) и более.

При дробном числе черпаков в шлейфе нагрузка, как отмеч лось, носит периодический пульсирующий характер. При тяжел грунтах (см. рис. 5) колебание нагрузки составляет 12% и выше, ч необходимо учитывать при выборе мощности двигателя черпаково устройства.

II. Нагрузочные диаграммы за время цикла

Работа драги характеризуется рядом следующих друг за друг циклов. Цикл драги, работающей на сваях, включает операции: 1) под

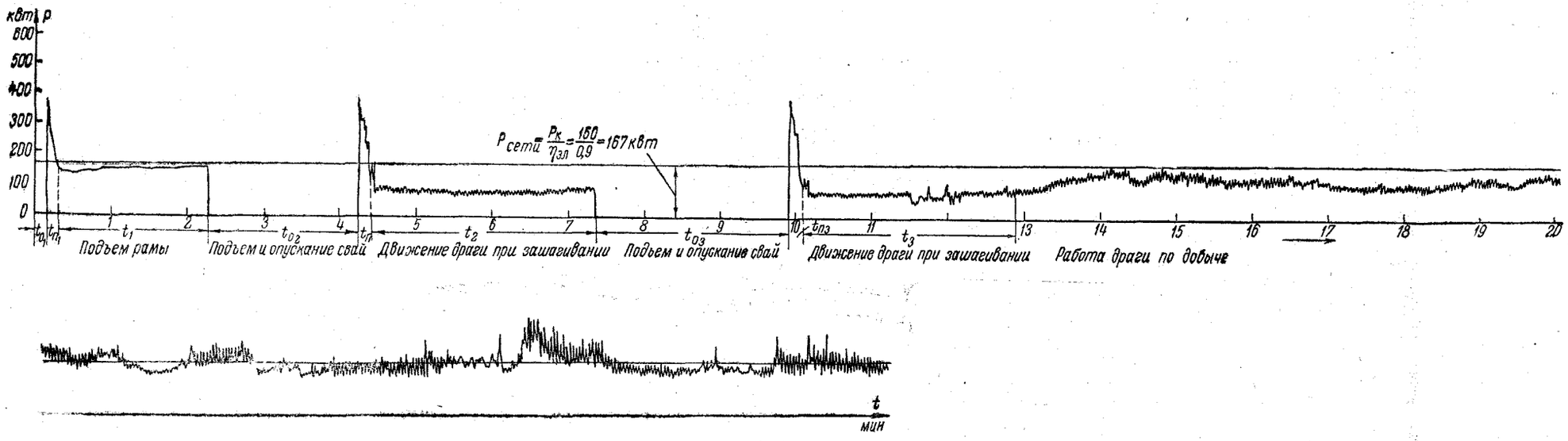


Рис. 6

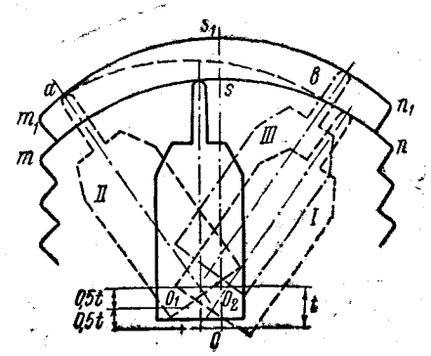


Рис. 7

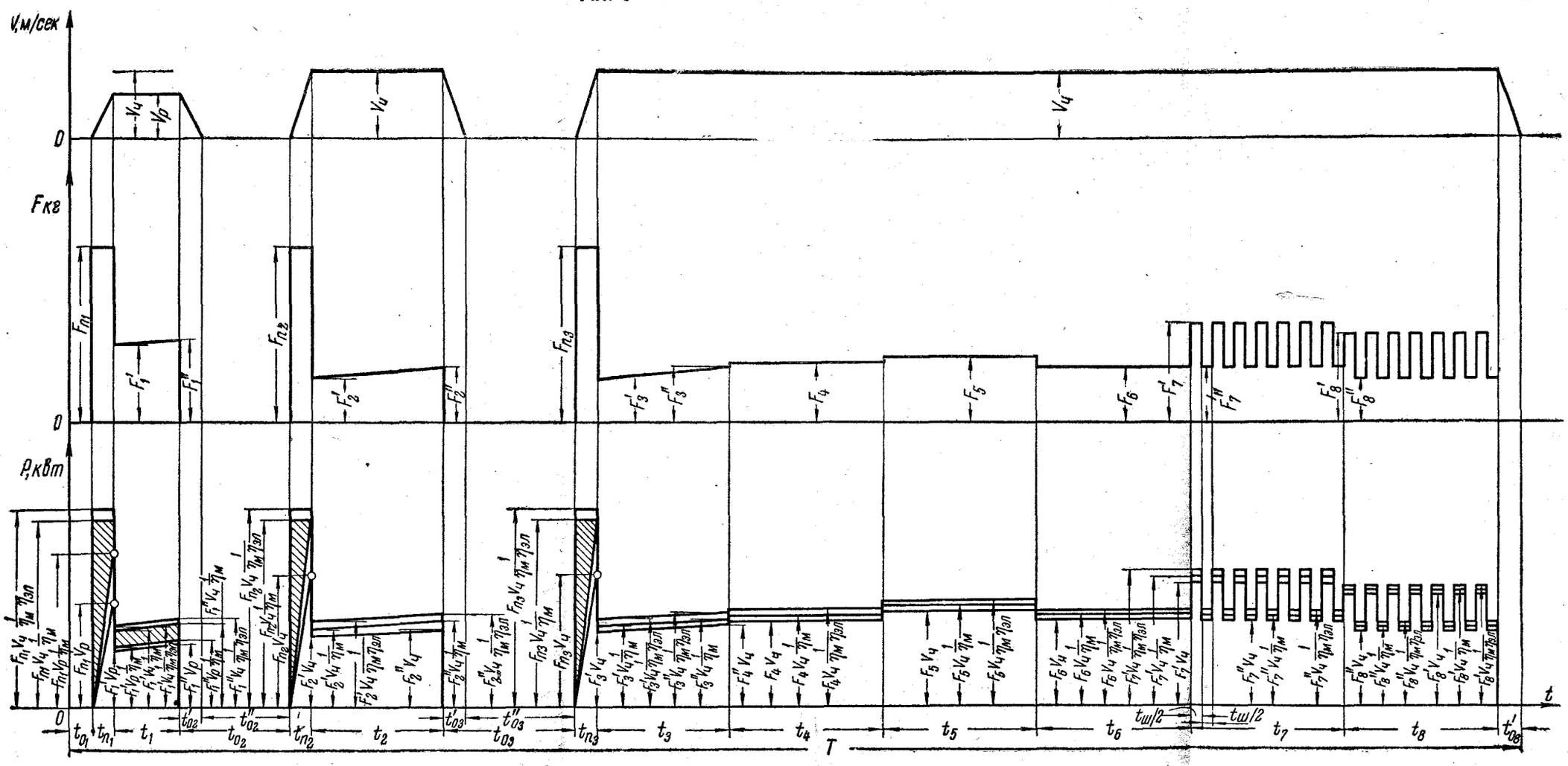


Рис. 8

ма рамы; 2) перегона драги вправо (рис. 7, положение *I*) [1]; 3) опускания левой сваи O_1, подъема правой сваи O_2 и опускания рамы; 4) перегона драги влево (положение *II*), когда драгой зачерпывается видимая на плане клиновидная площадь между линией *msn* и пунктирной линией *а—в*; 5) опускания правой (рабочей) сваи O_2 и подъема левой O_1; 6) перегона драги вправо (положение *III*), когда драгой зачерпывается другая, видимая в плане клиновидная площадь между пунктирной линией *а—в* и линией $m_1s_1n_1$; 7) переноски бортовых канатов и береговых роликов; 8) систематической работы драги по добыче, когда при последующих боковых движениях драги осуществляется отработка забоя, причем по достижении черпаковой цепью одного из бортов разреза происходит очередное опускание рамы и, в результате, новый слой грунта драга забирает при обратном боковом движении.

Так продолжается до тех пор, пока драга, постепенно опуская черпаковую раму, не отработает весь уступ до самого плотика и тщательно не зачистит его поверхность. На этом цикл заканчивается и драга вновь перемещается вперед на величину шага [2] — начинается отработка нового уступа [6].

Длительность цикла зависит от различных факторов: крепости пород, высоты уступа, скорости и пути бокового движения драги, емкости черпака, длительности пауз и т. д. Например, для драги 0,21 $м^3$ (см. рис. 6) длительность цикла равна примерно 3 час., а чистое время работы по добыче — около 2,5 час.

При определении мощности двигателя черпаковой цепи следует, естественно, ориентироваться на нагрузочную диаграмму, построенную для всего цикла работы драги. Такая диаграмма построена нами (рис. 8) для условий, при которых была снята нагрузочная диаграмма самопишущими приборами (см. рис. 6). Диаграмма для удобства построена не в масштабе. Здесь же представлены диаграммы скорости и мощности.

Определение усилий в порядке последовательности в отдельные моменты времени может быть произведено аналогично указанному на рис. 8.

1. Усилия подъема черпаковой рамы

На практике подъем черпаковой рамы производится обычно при пониженной скорости $V_р^* < V_ч$, что достигается введением реостата в цепь ротора двигателя черпаковой цепи. ** Понижение скорости необходимо для ограничения нагрузки двигателя до номинальной.

Усилия F_1' в начале и F_2'' в конце подъема рамы, отнесенные к барабану рамоподъемной лебедки, можно определить достаточно точно, пользуясь графо-аналитическим методом [5]. К сожалению, этот метод, хотя и единственно правильный, является громоздким. Он требует ряда графических построений для составления уравнения статических моментов,

---

[1] Работа драги происходит обычно на правой свае, левая является вспомогательной. Если предыдущий цикл был закончен при положении драги в правом углу забоя, то перегон драги вправо отсутствует [5].

[2] В данном случае под шагом подразумевается величина перемещения драги вперед между двумя циклами.

* Под скоростью $V_р$ подразумевается не абсолютная скорость перемещения рамы в месте крепления к ней подъемного каната, а скорость рамоподъемной лебедки, так как между рамой и рамоподъемной лебедкой для уменьшения усилия двигателя поставлен полиспаст.

** Имеется в виду система, получившая наибольшее распространение, где перемещение черпаковой цепи и подъем рамы осуществляются одним двигателем — асинхронным двигателем с контактными кольцами.

с помощью которого определяются указанные усилия. Для практических расчетов определение усилий F_1' и F_2'' может быть произведено, исходя из номинальной мощности двигателя $P_н'$, которая, в свою очередь, ориентировочно определяется по данным нагрузочных диаграмм за время шага (см. рис. 2—5),

$$P_н' = \frac{F_{ср} V_ч}{102\eta_м}, \tag{52}$$

где $F_{ср}$ — среднее значение усилия за время шага.

Усилие

$$F_1' = \frac{102\eta_м P_н'}{V_р} \tag{53}$$

в начале подъема меньше усилия F_1'' в конце подъема рамы, так как по мере подъема рамы усилия и плечи элементов рамы изменяют свои значения и относительные положения. По нашим наблюдениям, например, для драги 0,21 $м^3$ (см. рис. 6) $F_1'' \approx 1{,}1F_1'$ при подъеме рамы с наполненными черпаками на 7 $м$ (около 2 $м$ над уровнем воды); для драги с емкостью черпака 0,38 $м^3$ $F_1'' \approx 1{,}3F_1'$ при подъеме рамы на 8 $м$ (около 1 $м$ над уровнем воды). Таким образом, ориентировочно усилие

$$F_1'' = \beta F_1', \tag{54}$$

где $\beta = 1{,}1 \div 1{,}15$ для драг 0,21 $м^3$ и $\beta = 1{,}3 \div 1{,}4$ для драг с черпаками ёмкостью 0,38 $м^3$.*

Усилие $F_{п_1}$ во время пуска двигателя можно определять исходя из условий как допустимой перегрузки двигателя, так и допустимых механических напряжений

$$F_{п_1} = \lambda F_1', \tag{55}$$

где $\lambda = 1{,}5 \div 2$, по данным практики драгирования при наличии асинхронного двигателя с контактными кольцами [7].

2. Усилия при зашагивании

Как отмечено выше, при зашагивании драга, перемещаясь из положения *I* в положение *II* (см. рис. 7), сначала зачерпывает клиновидную площадь между линиями *msn* и *ав*, а затем, перемещаясь из положения *II* в положение *III*, — клиновидную площадь между линиями $m_1 s_1 n_1$ и *ав*. Все это производится при минимальном и одном и том же погружении рамы, поэтому усилия F_2' (рис. 8), соответствующее положению драги *I* (см. рис. 7), и F_3', соответствующее положению драги *II*, можно принять равными. То же самое можно сказать и об усилиях F_2'' (положение драги *II*, ** как конечное при движении драги из положения *I* в положение *II*) и F_3'' (положение драги *III*), $F_2'' = F_3''$.

Усилия F_2' и F_2'' могут быть определены на основании любого из выражений (17), (18), (19); как следует из построения соответственных нагрузочных диаграмм (см. рис. 2 и 4), численные значения усилий, опре-

* Данная перегрузка двигателя в конце подъема является вполне допустимой (1—2 мин.).

** Положение драги *II* (см. рис. 7) в данном случае рассматривается как исходное при движении драги из положения *II* в положение *III*.

деленных выражениями (17), (18), (19), за исключением пик, друг от друга почти не отличаются.

Усилие $F_2' = F_3'$ определится, например, выражением (17), если считать, что усилие резания $F_р$, усилие сжатия срезаемой стружки $F_{сж}$ и усилие призмы волочения $F_{п.в}$ будут равны нулю

$$F_2' = F_3' = (i-1)F_ч + F_{гр} + F_{ч.п}. \quad (56)$$

Усилие

$$F_2'' = F_3'' = iF_р + \left(i + \frac{t_ш}{t_н} - 2\right)(F_{сж} - F_{п.в}) + \\ + (i-1)F_ч + F_{гр} + F_{ч.п}. \quad (57)$$

Изменение усилия за время t_2 и t_3 (см. рис. 8) принимаем прямолинейным.

Пусковые усилия $F_{п_2}$ и $F_{п_3}$ определяются на основании выражения (55).

3. Усилия при драгировании

Выше указано определение усилий при драгировании при данном погружении рамы. Каждый из элементов времени t_4, t_5, t_6, t_7 и t_8 (см. рис. 8) должен представлять время движения драги при соответствующем погружении рамы. В данном случае (рис. 6 и 8), по мере отработки уступа, рама драги опускалась на 0,2 *м*. В конце цикла рама была опущена примерно на 5 *м*.

При построении диаграммы усилий (см. рис. 8) мы несколько упростили положение, приняв элементы времени $t_4, \ldots t_8$ таким образом, что рама будто погружалась не на 0,2 *м*, а на 1 *м*. Поэтому время t_4 соответствует работе драги при погружении рамы $h_1 = 1$ *м*, время t_5 — при погружении рамы $h_1 = 2$ *м* и т. д. И, наконец, время t_8 соответствует наибольшему погружению рамы $h_1 = 5$ *м*.

Такое упрощение, как показала проверка, не вносит значительных погрешностей. В каждом конкретном случае подобное упрощение должно быть произведено с учетом действительного изменения усилий как с изменением класса грунта, так и составляющих усилий на подъем грунта и перемещение черпаков. Поэтому, естественно, что каждый из элементов времени не обязательно будет соответствовать погружению рамы на 1 *м*.

При построении нагрузочной диаграммы за время $t_4, \ldots, t_8$ предполагалось в соответствии с действительными условиями работы данной драги (рис. 6), что во время t_4 ($h_1 = 1$ *м*) драга работала в илистом грунте с растительными веществами (I класс грунта), число черпаков в шлейфе 3, усилие постоянное F_4.

Время t_5 ($h_1 = 2$ *м*) соответствует работе драги в илистом грунте при наличии мелкой и средней гальки (I класс грунта), что несколько увеличивает нагрузку и $F_5 > F_4$. Число черпаков в шлейфе то же ($i = 3$). Время t_6 ($h_1 = 3$ *м*) соответствует работе драги в таком же грунте, что и работа драги во время t_5, но усилие $F_6 < F_5$, так как усилие перемещения черпаков $F_{ч.п}$ и усилие подъема грунта $F_{гр}$ будут уменьшены. Время t_7 ($h_1 = 4$ *м*) соответствует работе в каменистом тяжелом грунте (V класс), почва неровная, число черпаков в шлейфе 3,5.

На рис. 6 по техническим соображениям нагрузочную диаграмму для участков времени t_7 и t_8 пришлось значительно утрировать. Действительный вид диаграммы в масштабе приведен на рис. 5.

Время t_8 ($h_1 = 5$ *м*) соответствует работе в том же каменистом грунте и зачистке плотика. Усилия F_8' и F_8'' соответственно меньше усилий F_7' и F_7'' вследствие погружения рамы с $h_1 = 4$ *м* до $h_1 = 5$ *м*. Определение данных усилий приведено выше.

Располагая размерами дражного разреза и средней скоростью $V_б$ бокового перемещения драги (скорость маневровой лебедки), можно определить время $t_2, \ldots, t_8$ (см. рис. 8).

Время подъема рамы

$$t_1 = \frac{h_б}{V_р}, \tag{58}$$

где $h_б$ — часть каната, которая навивается на барабан рамоподъемной лебедки при перемещении рамы (места крепления подъемного каната к раме) на высоту $h_р$.

Так как между рамой и рамоподъемной лебедкой имеется полиспаст, то между $h_б$ и $h_р$ существует зависимость

$$h_б = h_р N_{бл} \eta_{пол}, \tag{59}$$

где $N_{бл}$ — число блоков полиспаста;
$\eta_{пол}$ — к. п. д. полиспаста.

Линейная скорость барабана рамоподъемной лебедки

$$V_р = \frac{\pi D_б n_{дв}}{60j}, \tag{60}$$

где $D_б$ — диаметр барабана рамоподъемной лебедки;
$n_{дв}$ — скорость вращения двигателя, об/мин;
j — передаточное отношение между двигателем и рамоподъемной лебедкой.

Скорость двигателя $n_{дв}$ при подъеме рамы, как уже отмечалось, должна быть пониженной таким образом, чтобы нагрузка двигателя, хотя бы вначале, не превосходила номинальную. Как показали наблюдения, например, для драги с черпаками емкостью 0,21 $м^3$ при $n_н = 587$ об/мин и подъеме рамы скорость двигателя $n_{дв} = 400$ об/мин.

Время пуска $t_{п_1}$, $t_{п_2}$ и $t_{п_3}$, имея в виду реостатный пуск, может быть определено достаточно точно с помощью общеизвестных из теории электропривода соотношений [8], где время пуска определяется, как суммарное время переходного режима электропривода. При двойной нагрузке для драг 0,21 $м^3$ время пуска главного привода составляет примерно 10—12 сек., а для драг 0,38 $м^3$ — около 12—15 сек. На драгах 0,38 $м^3$ в большинстве случаев пуск автоматизирован при помощи реле времени. Время паузы $t_{о_1}$, $t_{о_2}$ и $t_{о_3}$ зависит от организации и системы работ, размеров дражного разреза, навыка обслуживающего персонала и пр. Поэтому относительно точные значения элементов времени в зависимости от указанных условий могут быть получены лишь посредством многочисленных наблюдений. Для данного случая (рис. 6) время, обусловленное переключением лебедки главного привода, $t_{о_1} \approx 10$ сек. Время, обусловленное подъемом правой сваи и опусканием левой, переключением маневровой лебедки,

$t_{0_2} \approx 115$ сек. Время, обусловленное переноской бортовых канатов и береговых роликов, переключением маневровой лебедки, подъемом левой сваи и опусканием правой, $t_{0_3} \approx 300$ сек.

III. Выбор мощности

Рассмотренные выше нагрузочные диаграммы являются диаграммами исполнительного механизма. Для выбора мощности двигателя необходимо располагать нагрузочной диаграммой двигателя, которая, как известно, может быть получена из диаграммы исполнительного механизма с учетом переходных режимов электропривода. Нагрузка главного электропривода драг является длительной, за исключением пусковых периодов и тех случаев, когда число черпаков в шлейфе является дробным.

Усилия пусковых периодов $F_{п_1}$, $F_{п_2}$ и $F_{п_3}$ (рис. 8) без большой погрешности приняты нами как средние за время пуска.

Переходные режимы (механические), вызываемые колебаниями нагрузки при дробном числе черпаков в шлейфе (рис. 3 и 5) проявляются незначительно. На самом деле практическое время механического переходного режима [8]

$$t \approx (4 \div 5) B,$$

где электромеханическая постоянная электропривода

$$B = \frac{GD^2 n_0}{375 M_н} S_н.$$

С другой стороны, при $i = 3{,}5$ через каждые $\frac{t_ш}{2}$ нагрузка черпакового устройства драги изменяется. Для условий, приведенных на рис. 3 и 5, $\frac{t_ш}{2} \approx 1{,}4$ сек., электромеханическая постоянная $B = 0{,}014$ сек., а время переходного режима $t \approx 0{,}07$ сек. Таким образом, время переходного режима составляет лишь 5% от времени $\frac{t_ш}{2}$. Следовательно, переходными режимами можно пренебречь.

Итак, характер нагрузочной диаграммы электропривода и диаграммы исполнительного механизма в нашем случае будет одинаковым. В соответствии с этим характером нагрузочной диаграммы наиболее рациональным методом выбора мощности электродвигателя будет являться метод эквивалентного усилия (момента) [8].

На основании диаграммы усилий (см. рис. 6) определяем эквивалентное усилие

$$F_э = \sqrt{\frac{F_{п_1}^2 t_{п_1} + \frac{F_1'^2 + F_1' F_1'' + F_1''^2}{3} t_1 + F_{п_2}^2 t_{п_2} + \frac{F_2'^2 + F_2' F_2'' + F_2''^2}{3} t_2 + \rightarrow}{t_{п_1} + t_{п_2} + t_{п_3} + t_{0_3}' + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + \rightarrow}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+ F_{п_3}^2 t_{п_3} + \frac{F_3'^2 + F_3' F_3'' + F_3''^2}{3} t_3 + F_4^2 t_4 + F_5^2 t_5 + F_6^2 t_6 + \rightarrow}{+ t_6 + t_7 + t_8 + \rightarrow}$$

$$\rightarrow \frac{+ \frac{F_7'^2 + F_7''^2}{2} t_7 + \frac{F_8'^2 + F_8''^2}{2} t_8}{+ \beta_1 (t_{0_1} + t_{0_2} + t_{0_3})}, \qquad (61)$$

где β_1 — коэффициент, учитывающий ухудшение условий охлаждения двигателя во время паузы. Можно принять его равным 0,25 [8].

Эквивалентная мощность

$$P_э = \frac{F_э V_ч}{102\eta_м}. \qquad (62)$$

Выбрав двигатель в каталоге, его необходимо проверить на допустимую перегрузку общеизвестным методом, ориентируясь на действительную перегрузку, обусловленную пусковыми усилиями $F_{п_1}$, $F_{п_2}$ и $F_{п_3}$ (рис. 8).

IV. Расход электроэнергии и к. п. д.

Для определения расхода электроэнергии за время цикла, пользуясь классическим методом [3], по данным диаграммы скорости и диаграммы усилий (см. рис. 8) строим диаграмму мощности. Методика построения диаграммы мощности и значения мощности в отдельные моменты видны на рис. 8. Расход электроэнергии за время цикла

$$A_ц = \frac{V_ч}{102\cdot 3600\eta_м\eta_{эл}}\left(F_{п_1}t_{п_1} + \frac{F_1' + F_1''}{2}t_1 + F_{п_2}t_{п_2} + \right.$$

$$+ \frac{F_2' + F_2''}{2}t_2 + F_{п_3}t_{п_3} + \frac{F_3' + F_3''}{2}t_3 + F_4t_4 + F_5t_5 +$$

$$\left. + F_6t_6 + \frac{F_7' + F_7''}{2}t_7 + \frac{F_8' + F_8''}{2}t_8\right), \ квт\text{-}ч. \qquad (63)$$

К. п. д. главного привода драги может быть определен как отношение полезной энергии $A_п$ к энергии, потребляемой из сети и определяемой выражением (63). Полезной работой или энергией $A_п$ относительно главного привода драги следует считать энергию, которая будет тратиться исключительно на копание и подъем грунта.

Полезная энергия за время цикла

$$A_п = \frac{V_ч}{102\cdot 3600}\left[(F_{п_2} - F_{д_2} - F_{ч.\,п})\,t_{п_2} + \frac{F_2' + F_2'' - 2F_{ч.\,п}}{2}t_2 + \right.$$

$$+ (F_{п_3} - F_{д_3} - F_{ч.\,п})\,t_{п_3} + \frac{F_3' + F_3'' - 2F_{ч.\,п_3}}{2}t_3 + (F_4 - F_{ч.\,п_4})\,t_4 +$$

$$+ (F_5 - F_{ч.\,п_5})\,t_5 + (F_6 - F_{ч.\,п_6})\,t_6 + \frac{F_7' + F_7'' - 2F_{ч.\,п_7}}{2}t_7 +$$

$$\left. + \frac{F_8' + F_8'' - 2F_{ч.\,п_8}}{2}t_8\right], \ квт\text{-}ч, \qquad (64)$$

где $F_{д_2}$ и $F_{д_3}$ — динамические составляющие пусковых усилий (рис. 8), определяемые соотношениями

$$F_{д_2} \cong F_{п_2} - F_2'; \qquad (65)$$

$$F_{д_3} \cong F_{п_3} - F_3'; \qquad (66)$$

$F_{ч.\,п}$, $F_{ч.\,п_3}$, $F_{ч.\,п_4}$, ..., $F_{ч.\,п_8}$ — соответственные значения усилий перемещения черпаков.

Следовательно, к. п. д.

$$\eta = \frac{A_п}{A_ц}. \qquad (67)$$

Удельный расход электроэнергии

$$a = \frac{A_ц}{Q_ц} \frac{квт\text{-}ч}{м^3}, \qquad (68)$$

где $Q_ц$ — добыча, $м^3/цикл$.

Как показали произведенные нами расчеты, мощность двигателя, определенная по формуле (62), не на много (примерно на 10%) отличается от мощности, определенной графически (см. рис. 6), что, имея в виду специфику условий, следует признать приемлемым.

Выводы

1. В результате произведенного анализа режима работы главного электропривода драги создана методика выбора его мощности.

2. Предложенная методика, к сожалению, не лишена неточностей, которые обусловлены в основном отсутствием исчерпывающих данных из области резания грунтов.

3. Уточнение характера нагрузочных диаграмм за время шага и шлейфа цепи должно быть произведено на практике путем осциллографирования.

Использованная литература

1. Зеленин А. Н. Физические основы теории резания грунтов. Изд. АН СССР, 1950.
2. Ветров Ю. Л., Дионисьев А. И. Сопротивление горных пород резанию Труды ВУГИ. Углетехиздат, 1951.
3. Шклярский Ф. Н. Физико-механические основы электрического рудничного подъема. Углетехиздат, 1952.
4. Лукашевич А. А. Проектирование драг и их устройств. Докторская диссертация. Ленинград, Кораблестроительный институт, 1950.
5. Свиридов А. П. Драги и драгирование. Металлургиздат. 1952
6. Шорохов С. М. Разработка россыпей открытыми работами. Металлургиздат, 1948.
7. Озерной М. И. Горная электротехника. Углетехиздат, 1951.
8. Попов В. К. Основы электропривода. Госэнергоиздат,. 1951.