

УДК 62-83 (075.8)

**В. С. Коцюбинский**, канд. техн. наук,

**А. В. Холодюк**

**РАСЧЕТ МОЩНОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
 ГЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЧЕРНОВОЙ КЛЕТИ СТАНА 3000 ОАО “АМК”**

*Аннотация.* Посвящена расчету мощности электродвигателей прокатных станов. С использованием одного пропуска программы прокатки определяется требуемая мощность и оптимальные параметры электродвигателей. В основе лежит методика расчета статических моментов прокатки.

**В. С. Коцюбинський**, канд. техн. наук,

**О. В. Холодюк**

**РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ГО-  
 ЛОВНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЧОРНОВИЙ КЛІТІ СТАНУ 3000 ВАТ "АМК"**

*Анотація.* Присвячено розрахунку потужності електродвигунів прокатних станів. З використанням одного пропуску програми прокатки, визначається необхідна потужність і оптимальні параметри електродвигунів. За основу приймається методика розрахунку статичних моментів прокатки.

**V. S. Kocjubinskij**, PhD,

**A. V. Holodjuk**

**POWER CALCULATION AND DETERMINATION OF THE OPTIMAL PARAMETERS MAIN  
 ELECTRIC ROUGHING MILL STAND 3000 JSC "AMK"**

*Abstract.* The article is devoted to the calculation of electric power rolling-mill. The authors determine the required power and the optimal parameters of electric motors, using one pass of the program rolling. Basis for the calculation is methodology of static moment rolling determine.

На данный момент большинство методов расчета мощности электродвигателя реверсивных прокатных станов основывается на проверке заранее выбранного двигателя. Предварительно электродвигатель выбирается на основании опытных данных для конкретного прокатного стана с известными режимами прокатки. Исходными данными при проверочном расчете мощности электродвигателя являются сортамент проката, расчетная производительность стана и программа прокатки. Проверка двигателя по нагреву выполняется методом эквивалентного тока. Такой расчет является очень громоздким, сложным и требует значительных затрат времени.

В данной статье предлагается по заданной программе прокатки черновой клетки Стана 3000 ОАО “АМК” провести расчет мощности по одному пропуску, а также определить оптимальные параметры двигателя.

За основу берется восьмой пропуск, где скорость двигателя впервые достигает номинальной. Момент прокатки в этом случае будет, сравним по величине с эквивалентным моментом прокатки за все пропуски. Начиная с этого пропуска, обжатие в программе прокатки уменьшается по сравнению с предыдущими пропусками, что свидетельствует о регулировании скорости ослаблением потока.

Коэффициент внешнего трения

$$\mu = 1,05 - 0,0005 \cdot \tau = 1,05 - 0,0005 \cdot 1050 = 0,525, \quad (1)$$

где  $\tau$  – температура заготовки (принимается, согласно технологической инструкции, равной 1050°C и соответствующей температуре начала проката).

Найдем коэффициент

$$\delta = \mu \sqrt{2D/\Delta h} = 0,525 \cdot \sqrt{2 \cdot 1000/18} = 5,53, \quad (2)$$

© Коцюбинский В.С., Холодюк А.В., 2011

где  $D = 1000$  – диаметр катающего вала, мм;

$\Delta h = 18$  – величина обжатия металла, мм.

Обжатие

$$\varepsilon = \Delta h/h_0 \cdot 100\% = 18/107 \cdot 100\% = 16,8\%, \quad (3)$$

где  $h_0$  – толщина заготовки, мм.

Программа прокатки

№ Пропуска	Сечение слитка				Катающий диаметр
	Толщина Н, мм	Ширина В, мм	Длина L, мм	Обжатие $\Delta h$ , мм	
1	250	100	2200	21	1000
2	229	100	2331	21	1000
3	208	102	2471	21	1000
4	187	106	2703	21	1000
5	166	110	2934	20	1000
6	146	114	3174	20	1000
7	126	119	3494	19	1000
8	107	125	3855	18	1000
9	89	131	4251	15	1000
10	74	138	4656	12	1000
11	62	145	5040	9	1000
12	53	150	5382	7	1000
	46	156	5690		

Для определения среднего удельного давления рекомендуется формула Целикова:

$$\rho_{\text{ср}} = \kappa \cdot \frac{2 \cdot (1 - \varepsilon)}{\varepsilon \cdot (\delta - 1)} \cdot \frac{h_i}{h_1} \cdot \left( \left( \frac{h_i}{h_1} \right)^2 - 1 \right), \quad (3)$$

где  $h_1$  – толщина металла после обжатия, мм;  $h_n$  – толщина прокатываемого металла в критическом сечении, мм;

$$\kappa = 1,15 \cdot n_0 \cdot n_n \cdot \sigma_s,$$

где  $n_0$  – коэффициент, характеризующий величину предела текучести  $\sigma_s$  в зависимости от скорости деформации;  $n_n$  – коэффициент, характеризующий величину предела текучести  $\sigma_s$  в зависимости от величины наклепа.

Чтобы найти среднее удельное давление на валок интересующего нас конкретного случая, необходимо найти величину коэффициента  $\delta$ , выбрать кривую, соответствующую по обжатию рассматриваемому случаю, и по ней найти соотношение  $\rho_{cp}/k$ . По номограмме, представленной на рис.1, для рассчитанных параметров  $\delta = 5,53$  и  $\varepsilon = 16,8$  определяем  $\rho_{cp}/k = 1,25$ .

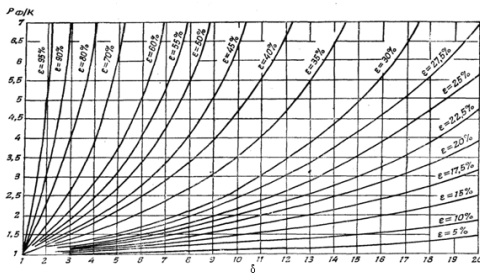


Рис.1. К определению среднего удельного давления

Определим скорость деформации

$$U_{\dot{\varepsilon}} = \frac{v_1}{r} \cdot \frac{l}{h_0} = \frac{1,5}{0,5} \cdot \frac{69,7}{107} = 1,954 \text{ с}^{-1}, \quad (5)$$

где  $v_1$  – скорость выхода металла из валков:

$$v_1 > w_i \cdot D/2 = 2,62 \cdot 0,5 = 1,3 \text{ м/с}$$

принимая значение 1,5 м/с;

$l = D \cdot \sin(\alpha/2)$  – проекция действительной поверхности соприкосновения с валками на плоскость, мм;  
 $r$  – радиус валков, м.

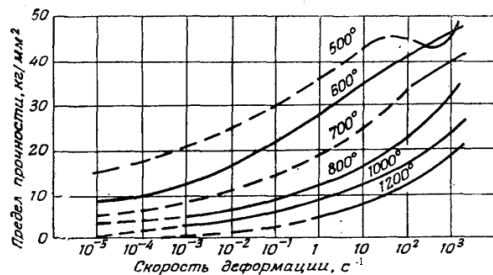


Рис.2. Влияние скорости деформации на предел прочности малоуглеродистой стали

По кривым, показанным на рис.2, для скорости деформации  $U_{cp} = 1,954 \text{ с}^{-1}$ , и температуры  $1000^\circ\text{C}$ , определим предел прочности, который равен  $10 \text{ кг/мм}^2$ .

Найдем

$$k = 1,15 \cdot n_0 \cdot n_n \cdot \sigma_s = 1,15 \cdot 10 = 11,5, \quad (6)$$

где  $\sigma_s$  – при горячей прокатке берется как значение предела прочности;  $n_0=1$ , если пренебречь влиянием скорости деформации; при горячей прокатке упрочнения металла практически нет, поэтому коэффициент  $n_n=1$ .

Среднее удельное давление согласно формуле, предложенной Целиковым,

$$\rho_{cp} = k \cdot \rho_{cp}/k = 11,5 \cdot 1,25 = 14,375 \quad (7)$$

Общее давление на валок

$$P = \rho_{\dot{\varepsilon}} \cdot \frac{b_0 + b_1}{2} \cdot \sqrt{\frac{D}{2} \cdot \Delta h} = 14,375 \cdot \frac{1253 + 1319}{2} \times \sqrt{\frac{1000}{2} \cdot 18} = 17540 \text{ э} \dot{\text{л}} \quad (8)$$

Момент прокатки [2]:

$$M_{i\dot{\varepsilon}} = 2 \cdot \rho_{\dot{\varepsilon}} \cdot B \cdot \frac{D}{2} \cdot \Delta h \cdot \Psi = 2 \cdot 14,375 \times 1260 \cdot 500 \cdot 18 \cdot 0,5 = 1664 \text{ э} \dot{\text{л}} \quad (9)$$

где  $B = (b_0 + b_1)/2$  – средняя ширина металла, мм;  
 $\Psi = 0,5$  – при горячей прокатке.

Момент трения в подшипниках

$$M_{i\dot{\varepsilon}} = P \cdot d \cdot \mu' = 17540 \cdot 0,7 \cdot 0,03 = 368,3 \text{ э} \dot{\text{л}} \quad (10)$$

где  $d$  – диаметр шейки валков, мм;  $\mu'$  – коэффициент трения в подшипниках.

Так как имеются опорные неприводные валки, то момент трения в подшипниках опорных валков должен быть приведен к рабочим валкам на основании соотношения диаметров валков. Исходя из этого, суммарный момент от действия сил трения

$$M_{\dot{\varepsilon}} = \frac{M_{i\dot{\varepsilon}}}{i \cdot \eta} \cdot \frac{D_p}{D_{ii}} + \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \cdot \frac{\dot{I}_{i\dot{\varepsilon}}}{i} = \frac{368,3}{0,893} \times \frac{1000}{1650} + \left( \frac{1}{0,893} - 1 \right) \cdot 1664 = 449,3 \text{ э} \dot{\text{л}} \quad (11)$$

где  $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,94 \cdot 0,96 \cdot 0,99 = 0,893$ .

Значения КПД принимаем согласно рекомендациям Н.Н. Дружинина:

$\eta_1$  – КПД шестеренной клетки равно 0,94;  $\eta_2$  – КПД шпинделей равно 0,96;  $\eta_3$  – КПД моторной и коренной муфт равно 0,99;  $D_p$  – диаметр рабочего валка, мм;  $D_{ii}$  – диаметр опорного валка, мм.

Суммарный статический момент на валу двигателя

$$M_c = \frac{M_{i\dot{\varepsilon}}}{i \cdot \eta} \cdot \frac{D_p}{D_{ii}} + \frac{\dot{I}_{i\dot{\varepsilon}}}{i \cdot \eta} + M_{xx} = \frac{36,83}{0,893} \cdot \frac{1000}{1650} + \frac{166,4}{0,893} + 6 = 217,31 \text{ э} \dot{\text{л}} \quad (12)$$

Метод расчета мощности двигателя.

Момент, требуемый для ускорения с прокаткой:

$$M_{\dot{\varepsilon}} = \dot{E}_{\text{асг}} + \dot{E}_{\text{сд}} + \dot{E}_{\text{нд}} = 1278,5 + (166,4 + 44,93) \cdot 9,8 = 3408,1 \text{ э} \dot{\text{л}} \quad (13)$$

где  $\dot{E}_{\text{асг}} = J_{\Sigma} \cdot v = 170,5 \cdot 7,5 = 1278,5 \text{ э} \dot{\text{л}} \quad ;$

$$J_{\Sigma} = J_{\dot{\varepsilon}} + J_{\dot{n}} = 67,5 \cdot 2 + 35,5 = 170,5 \cdot 10^3 \text{ э} \dot{\text{л}} \quad ^2,$$

где  $J_{\dot{n}}$  – момент инерции системы,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $v=7,5$  об/мин/с – величина ускорения, принимаем согласно рекомендациям ГОСТ [2].

Известно, что продолжительность включения двигателя в одном пропуске проката составляет 40%,

тогда рассчитаем перегрузочную способность двигателя, гарантирующего его работу без перегрева [2]:

$$\lambda = 4 \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \varepsilon^2}} = 4 \sqrt{\frac{1}{2 \cdot 0,4^2}} = 1,329. \quad (14)$$

Расчетная номинальная мощность (ПВ=40 %):

$$P_{\text{аа}\Sigma} = \frac{\dot{I}_{\text{аа}} \cdot w_{\text{с}} \cdot D_{\text{yl}}}{\lambda} = \frac{3408 \cdot 1,5}{1,329} \times \\ \times \frac{1,75}{1,329} = 6728,7 \text{ еА}\hat{\text{д}}, \quad (15)$$

где  $w_{\text{с}}$  – скорость захвата металла (значение  $w_{\text{с}} = 1,5 \text{ с}^{-1}$ , примем из условий, что скорость захвата металла приблизительно должна составлять 50 % от номинальной скорости двигателя  $w_{\text{г}} = 2,62 \text{ с}^{-1}$ );

$D_{\text{yl}} = \frac{w_{\text{г}}}{w_{\text{с}}} = \frac{2,64}{1,5} = 1,75$  – диапазон регулирования скорости напряжением якорной цепи.

С учетом того, что на стане используется два двигателя, мощность каждого

$$P_{\text{аа}} = \frac{P_{\text{аа}\Sigma}}{2} = \frac{6728,7}{2} = 3364,35 \text{ еА}\hat{\text{д}}. \quad (16)$$

Если учесть, что на прокатных станах устанавливаются двигатели с продолжительностью включения 100 %, тогда каталожная мощность электродвигателя

$$P_{\text{аа.эфн}} = P_{\text{аа.дфн}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{дфн}}}{\varepsilon_{\text{эфн}}}} = 3364,35 \cdot \sqrt{0,4} = \\ = 2117,8 \text{ еА}\hat{\text{д}}. \quad (17)$$

Анализ фактических режимов работы реверсивных обжимных станков и проведенные расчеты показали, что динамический момент на валу прокатного двигателя составляет в среднем около 50 % от среднего статического момента прокатки за цикл. Тогда средний максимальный момент на валу двигателя за цикл прокатки

$$M_{\text{ср}} = 1,5 \cdot M_{\text{с}} \cdot 9,8 = 1,5 \cdot 217,31 \cdot 9,8 = 3194,4 \text{ е}\hat{\text{д}}. \quad (18)$$

Расчетная номинальная мощность (с учетом того, что ПВ=40 %):

$$P_{\text{аа}\Sigma} = \frac{\dot{E}_{\text{аа}} \cdot w_{\text{с}} \cdot D_{\text{yl}}}{\lambda} = \frac{3194,4 \cdot 1,5}{1,329} \times \\ \times \frac{1,75}{1,329} = 6294,8 \text{ еА}\hat{\text{д}}. \quad (19)$$

Определим момент инерции двигателя, требуемый для его разгона на холостом ходу,

$$J_{\text{аа.дд}} = \frac{\dot{I}_{\text{аа.дд}} - J_{\text{с}} \cdot v}{v} = \frac{1064,8 - 35,5 \cdot 7,5}{7,5} = \\ = 106,5 \cdot 10^3 \text{ е}\hat{\text{д}}^2, \quad (20)$$

где

$$\dot{I}_{\text{аа.дд}} = 9,8 \cdot 0,5 \cdot \dot{I}_{\text{н}} = 9,8 \cdot 0,5 \cdot 217,31 = 1064,8 \text{ е}\hat{\text{д}}.$$

Таким образом, для данного режима прокатки оптимальным является двигатель мощностью 6,3 МВт с моментом инерции  $106,5 \text{ е}\hat{\text{д}}^2$ . С учетом того, что на стане используются два двигателя, оптимальные параметры для них

$$P_{\text{аа}} = \frac{P_{\text{аа}\Sigma}}{2} = \frac{6294,8}{2} = 3147,4 \text{ еА}\hat{\text{д}}, \\ J_{\text{аа.дд}} = \frac{J_{\text{аа.дд}}}{2} = \frac{106,5}{2} = 53,25 \cdot 10^3 \text{ е}\hat{\text{д}}^2.$$

Если учесть, что на прокатных станах устанавливаются двигатели с продолжительностью включения 100 %, тогда каталожная мощность электродвигателя

$$P_{\text{аа.эфн}} = P_{\text{аа.дфн}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{дфн}}}{\varepsilon_{\text{эфн}}}} = 3147,4 \cdot \sqrt{0,4} = \\ = 1990,6 \text{ еА}\hat{\text{д}}.$$

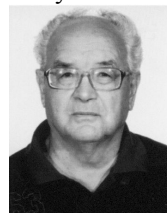
Следует отметить, что на “Стане 3000” установлены два прокатных двигателя типа МП 2950–25, 2170 кВт, 25/60 об/мин, 750 В, 3320 А. момент инерции якоря –  $67,5 \text{ тм}^2$ .

Предлагаемый метод расчета мощности и параметров прокатных двигателей реверсивных станков горячей прокатки может быть полезен инженерно-техническим работникам при проектировании, наладке и эксплуатации электроприводов в прокатном производстве, а также может быть использован в учебном процессе при выполнении курсовых и дипломных проектов.

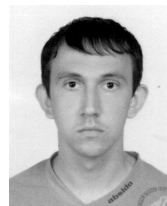
#### Список использованной литературы

1. Дружинин Н.Н. Электрооборудование прокатных цехов / Н.Н. Дружинин / Металлургиздат, –М.: 1956. – 456 с.
2. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учеб. пособ. / В.С. Коцюбинский – Алчевск: ДонГТУ, 2007. – 205 с.

Получено 30.06.2011



Коцюбинский  
Виктор Семенович,  
к.т.н., проф. Донбасск.  
гос. техн. ун-та,  
ДонГТУ, пр. Ленина 16,  
г. Алчевск, 94204  
095-85-120-73



Холодюк  
Александр Валентинович,  
студент Донбасск.  
гос. техн. ун-та,  
095-52-14-178,  
KholodyukA@yandex.ru