

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МАНИПУЛЯТОРОВ ОБЖИМНЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

**Введение.** В статье впервые решается проблема расчета мощности электродвигателей по заданным максимальным значениям скорости и предельно допустимому времени работы механизма с учетом допустимого теплового режима [1].

**Постановка задач исследования.** Манипулятор предназначен для передвижения металла по роликам рольганга параллельно их бочке с целью последующего направления металла в валки (или их калибры). Одновременно с этим линейки манипулятора выпрямляют прокатываемую полосу (блюм, сляб, заготовку), если она деформировалась при прокатке. Манипуляторы применяют только при прокатке слитков и относительно толстой заготовки или полосы, т.е. на блюмингах, слябингах, рельсобалочных, крупносортовых и толстолистовых станах. В линиях отделки проката и на листовых станах используют манипуляторы и кантователи различных типов в зависимости от их назначения (для кантовки толстых листов, рулонов, рельсов и т.д.).

В данной работе основное внимание уделено манипуляторам различных обжимных реверсивных станков. Манипуляторы этих станков установлены с передней и задней сторон рабочей клетки. Каждый манипулятор имеет две массивные стальные литые линейки массой по 15-40 т, которые установлены по бокам рабочего рольганга и передвигаемые при помощи длинных штанг с зубчатыми рейками. Передние и задние линейки, как со стороны привода валков, так и со стороны привода роликов рабочих рольгангов попарно приводятся от общего электродвигателя при помощи зубчатых шестерен, находящихся в зацеплении с рейками. Следовательно, левые и правые линейки передвигаются одновременно. Кроме того, левые и правые линейки могут одновременно передвигаться навстречу друг другу и «зажимать» металл либо удаляться одна от другой. Металл, направляемый в валки, передней парой линеек, с другой стороны клетки принимается задней парой линеек и затем передвигается ими к следующему калибру валков. Средняя штанга с зубчатой рейкой соединена с валом кантователя и приводится от электродвигателя. В таблице 1 приведены данные о скоростях перемещения линеек и усилие на линейках манипуляторов.

В зависимости от расположения привода различают следующие типы манипуляторов: американский и европейский. Кинематические схемы этих манипуляторов приведены в [2]. На рисунке 1 приведена кинематическая схема безредукторного манипулятора обжимного цеха 1250.

Таблица 1 – Скорости перемещения линеек и усилия на линейках манипуляторов

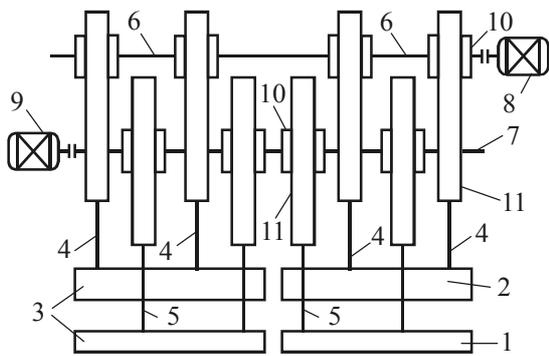
Диаметр валков, мм	Скорость перемещения линеек, м/с	Максимальное усилие на линейках, $\times 10^4$ , Н
1250	1,4	1400
1000...1100	1,0	40...1000
800...900	0,7...0,8	25...80
700...800	0,4...0,7	12...25

Преимуществом приведенного привода линеек манипулятора является применение безредукторного соединения тихоходных электродвигателей непосредственно с зубчатыми рейками, что значительно уменьшает момент инерции привода и снижает длительность времени разгона и торможения электродвигателей при тяжелом повторно-кратковременном режиме работы.

Анализ работы манипуляторов обжимных цехов показал, что количество его включений в час достигает 2000. Следует помнить, что заранее достаточно трудно определить количество правок линейками при искривлении прокатываемого металла и число включений электропривода при отработке малых перемещений. Поэтому, с достаточной степенью точности можно принять, что продолжительность включений электропривода линеек манипулятора составляет ПВ = 40%.

**Материалы исследования.** Далее рассмотрим на конкретном примере расчет мощности электродвигателей манипулятора обжимного цеха.

**Исходные данные:** максимальное давление на линейках  $P = 1,372$  кН; скорость перемещения линеек  $V = 1,4$  м/с при номинальной скорости электродвигателя; длина линеек  $l = 8160$  мм; рабочий ход линеек манипулятора  $L = 2800$  мм; масса линейки за клетью (левой и правой)  $m_{л1} = 1100$  кг; масса левой линейки перед клетью  $m_{л2} = 27000$  кг; масса правой линейки перед клетью  $m_{п2} = 11600$  кг; масса тянущей штанги  $m_{ш1} = 9000$  кг; масса толкающей штанги за клетью  $m_{ш2} = 6800$  кг; масса толкающей штанги перед клетью  $m_{ш2}'' = 6900$  кг; масса штанги кантователя  $m_{ш3} = 3600$  кг; масса кантовующего механизма  $m_k = 7900$  кг; диаметр начальной окружности реечной шестерни  $d_{ш} = 765$  мм; передаточное число редуктора  $i = 1$ ; КПД редуктора  $\eta = 0,9$ ; масса слитка  $m_{сл} = 9$  т; момент инерции механизма, приведенный к валу электродвигателя  $J_m = 15125$  кгм<sup>2</sup>.



- 1 – левая линейка перед станом;
- 2 – правая линейка перед станом (с кантовющим механизмом);
- 3 – левая линейка за станом;
- 4 – толкающие штанги правых линеек;
- 5 – тянущие штанги левых линеек;
- 6 – передаточный вал привода правых линеек;
- 7 – передаточный вал привода левых линеек;
- 8 – электродвигатель правых линеек;
- 9 – электродвигатель левых линеек;
- 10 – шестерня;
- 11 – зубчатая рейка

Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора.

Расчет моментов статического сопротивления.

Суммарный момент статических сопротивлений, приведенный к валу электродвигателя, определяется следующим выражением

$$M_c = M_1 + M_2 + M_3, \quad (1)$$

где  $M_1$  – момент для перемещения линеек манипулятора;  $M_2$  – момент для перемещения слитка вдоль роликов рольганга;  $M_3$  – момент для правки искривленного бляма (сляба).

Статическую нагрузку и мощность электродвигателя манипулятора рассчитывают для той пары линеек, в состав которой входит электропривод и механизмы кантователя.

Тогда

$$M_1 = M_1' + M_1'' = \frac{\Sigma m_1 \cdot q \cdot d_{ш} \cdot \mu_1}{2 \cdot i \cdot \eta} + \frac{\Sigma m_2 \cdot q \cdot f \cdot 10^{-2}}{i \cdot \eta}, \quad (2)$$

где  $M_1'$  – момент преодоления трения скольжения линеек манипулятора по направляющим; Нм;  $M_1''$  – момент трения качения зубчатых реек по бандажам реечных шестерен, Нм;  $\Sigma m_1$  – суммарная масса деталей, которая приходится на трущиеся поверхности ползунов и линеек, кг;  $\Sigma m_2$  – суммарная масса деталей, которая приходится на трущиеся поверхности и катящиеся по бандажам реечных шестерен, кг;  $d_{ш}$  – диаметр реечной шестерни, м;  $\mu_1$  – коэффициент трения скольжения линеек направляющих ( $\mu_1 = 0,15$ ) – при стальных направляющих и бронзовых вкладышах на ползунах линеек;  $f = 0,1$  см – коэффициент трения качения по бандажам реечных шестерен;  $i$  – передаточное число редуктора;  $\eta$  – КПД редуктора.

В соответствии с рекомендациями [2] для кинематической схемы манипулятора американского типа величины  $\Sigma m_1$  и  $\Sigma m_2$  определяются следующими формулами

$$\Sigma m_1 = m_{л1} + m_{л2} + m_{к} + \frac{2}{3}(\Sigma m_{ш2} + \Sigma m_{ш3}); \quad (3)$$

$$\Sigma m_2 = \frac{2}{3} \Sigma m_{ш2}, \quad (4)$$

где  $m_{л1}$  – масса линейки за клетью, кг;  $m_{л2}$  – масса линейки перед клетью, кг;  $m_{к}$  – масса кантователя с электроприводом, кг;  $\Sigma m_{ш2}$  – суммарная масса толкающих штанг левых линеек манипулятора, кг;  $\Sigma m_{ш3}$  – масса штанги и шатуна кантователя, кг; коэффициент  $2/3$  указывает, что только часть массы штанг приходится на трущиеся и катящиеся поверхности.

Суммарный момент статических сопротивлений, приведенный к валу электродвигателя, определяем по формуле (1). Для кинематической схемы (рис.1) по формуле (3), (4)

$$\Sigma m_1 = 1100 + 27000 + 7900 + \frac{2}{3}(6800 + 6900 + 9000 + 3600) = 53533 \text{ кг}, \quad \Sigma m_2 = \frac{2}{3}(6800 + 6900) \cdot 2 = 18266 \text{ кг}.$$

Величина статического момента  $M_1$  определяется формулой (2)

$$M_1 = \frac{53533 \cdot 9,81 \cdot 0,765 \cdot 0,15}{2 \cdot 1 \cdot 0,9} + \frac{18266 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 0,9} = 33479 + 199 = 33678 \text{ Нм}$$

Момент  $M_2$  определяется формулой

$$M_2 = \frac{m_{сл} \cdot q \cdot d_{сл} \cdot \mu_2}{2 \cdot i \cdot \eta}, \text{ Н·м} \quad (5)$$

где  $m_{сл}$  – масса прокатываемого слитка, кг;  $\mu_2$  – коэффициент трения скольжения слитка по роликам рольганга [2].

Момент  $M_3$  правки искривленного металла определяется следующей формулой (см. рис. 2)

$$M_3 = \frac{P \cdot d_{ш}}{2 \cdot i \cdot \eta}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (6)$$

где  $P$  – усилие, развиваемое линейками для правки искривленного металла, Н.

Это усилие определяется из выражения

$$\frac{P \cdot l}{4} = \sigma_T \cdot W_{\Pi}, \quad (7)$$

где  $l$  – длина искривленного блюма (при длине блюма, превышающей длину линейки манипулятора, необходимо принимать ее равной длине линейки), мм;  $\sigma_T$  – предел текучести стали при температуре правки (изгиба) блюма, МПа (Н/мм<sup>2</sup>);  $W_{\Pi}$  – пластический момент сопротивления сечения полосы; для прямоугольного сечения  $W_{\Pi} = 0,25 \cdot b_{\Pi} \cdot h_{\Pi}^2$ , мм<sup>3</sup>, где  $b_{\Pi}$  и  $h_{\Pi}$  – ширина и высота сечения, мм.

Тогда для выпрямления металла потребуется усилие

$$P = \sigma_T \cdot \frac{b_{\Pi} \cdot h_{\Pi}^2}{l}. \quad (8)$$

Расчеты показывают, что для блюмингов можно принимать  $P = 1,2 \div 1,5$  МН.

Следует помнить, что при определении динамических моментов и определении оптимального передаточного числа редуктора, момент  $M_3$  не учитывается [2].

Величина статического момента  $M_2$  определяется формулой (5)

$$M_2 = \frac{9,81 \cdot 9000 \cdot 0,765 \cdot 0,3}{2 \cdot 1 \cdot 0,9} = 11256 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент для правки искривленного металла определяется формулой (6)

$$M_3 = \frac{0,9 \cdot 10^6 \cdot 0,765}{2 \cdot 1 \cdot 0,9} = 382500 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Статический момент для перемещения линеек и слитка по рольгангу

$$M_{\text{пер}} = M_1 + M_2 = 33678 + 11256 = 44934 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Суммарный статический момент определяется формулой (1) и имеет следующее значение

$$M_{\text{ст}} = 33678 + 11256 + 382500 = 427434 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Определяем спрямляющее число с диаметром начальной реющей шестерни  $j = \frac{2 \cdot i}{d_{ш}} = \frac{2 \cdot 1}{0,765} = 2,6 \text{ м}^{-1}$ .

Определяем требуемую скорость двигателя  $\omega_{\text{треб}} = j \cdot V_M = 2,6 \cdot 1,4 = 3,64 \text{ с}^{-1}$ .

Принимаем скорость выпускаемых двигателей  $n_n = 320 \text{ об/мин}$ , ( $\omega_n = 3,35 \text{ с}^{-1}$ ).

Определяем требуемый момент инерции двигателя при известном передаточном числе редуктора. Редуктор, установленный в манипуляторе, считаем оптимальным. Тогда  $J_{\text{д.треб}} = \frac{J_M}{i^2} = J'_M = 15125 \text{ кгм}^2$ .

Определяем суммарный момент инерции привода  $J_{\Sigma} = J_{\text{д}} + J'_M = 2 \cdot J'_M = 30250 \text{ кгм}^2$ .

Определяем перегрузочную способность электродвигателя  $\lambda$  [4], которая гарантирует его работу без пере-

$$\text{грева } \lambda = 4 \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \varepsilon^2}} = 4 \sqrt{\frac{1}{2 \cdot 0,4^2}} = 1,329.$$

Определяем требуемый динамический момент двигателя  $M_{\text{дин.треб}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_{\text{треб}}}{t_n} = 30250 \cdot 2,6 = 78650 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ,

где  $\frac{d\omega}{dt} = 2,6 \text{ с}^{-2}$  в соответствии с паспортными данными.

Определяем требуемый момент двигателя с учетом статической нагрузки

$$M_{\text{треб}} = M_c + M_{\text{дин.треб}} = 427434 + 78650 = 506084 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

Так как по условиям работы требуется использование двух двигателей, определяем номинальный момент

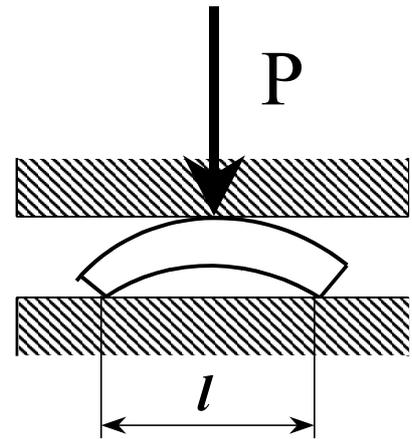


Рис. 2. Схема правки блюма (сляба) линейками манипулятора.

одного двигателя  $M_{н.треб} = \frac{M_{треб}}{2 \cdot \lambda} = \frac{506084}{2 \cdot 1,329} = 190400$  Нм.

Определяем требуемую номинальную мощность одного двигателя

$$P_{н.треб} = M_{н.треб} \cdot \omega_{треб} = 190400 \cdot 3,35 = 638 \text{ кВт.}$$

Так как правка металла происходит при  $n = 5$  об/мин ( $\omega = 0,525 \text{ с}^{-1}$ ) тогда мощность будет равна  $P = 190400 \cdot 0,525 = 99,96$  кВт.

По каталогу выбираем электродвигатель типа 32AS6260 F/10;

$$P_n = 620 \text{ кВт}; U_n = 600 \text{ В}; I_{ян} = 1300 \text{ А}; n = 32 \text{ об/мин } (\omega = 3,35 \text{ с}^{-1}); J_{дв} = 7600 \text{ кгм}^2.$$

**Выводы.** Загрузка электродвигателя  $(638 / 620) \cdot 100\% = 102,9\%$ . Следовательно, электродвигатель соответствует требованиям технологического процесса. Приведенная методика расчета мощности электродвигателей манипуляторов используется студентами при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также при подготовке выпускных работ магистров. Методика выбора мощности может с успехом использоваться при проектировании других электроприводов вспомогательных механизмов прокатных станов, а также главных электроприводов реверсивных станов горячей прокатки [1, 3, 4], рекомендуется проектным организациям при проектировании динамичных электроприводов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коцюбинский В.С. Расчет оптимальной мощности главных электроприводов реверсивных станов горячей прокатки // Технічна електродинаміка. – Київ, 2004. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки», 4. – С. 78-79. 2. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов: Учеб. пособие / А.Б.Зеленов. – К.: УМВО, 1990. – 200 с. 3. Коцюбинский В.С. Расчет мощности электроприводов позиционных механизмов // Технічна електродинаміка. – Київ, 2006. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки», 6. – С. 53-55. 4. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учеб. пособие. – Алчевск: ДонГТУ, 2005. – 150 с.