

Влияние диаграммы скорости механизма на величину эквивалентного момента на валу кранового двигателя

77-48211/513828

10, октябрь 2012

Гулова Н. А., Семенов В. С.

УДК.621.313

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

semenov494@mail.ru

Введение

Область использования мостовых кранов весьма обширна. Это не только такелажные работы, но и технологические процессы машиностроительного, металлургического и других видов промышленного производства. Использование мостовых кранов в литейном производстве, при сборке трансформаторов, прокатных станов, экскаваторов и пр., хотя и носит стохастический характер, но можно увидеть определенную последовательность операций во времени и пространстве с её характерными участками диаграммы скорости крановых механизмов. В более общем плане оценки надёжности и долговечности крановых механизмов необходимо показать влияние диаграммы скорости механизма на эквивалентный момент на валу механизма.

Диаграмма скорости (рис. 1) кранового привода включает, в себя следующие участки: участок разгона привода, установившегося движения, остановка и участки дополнительных включений, вызванных толчковой доводкой для точного останова кранового механизма.

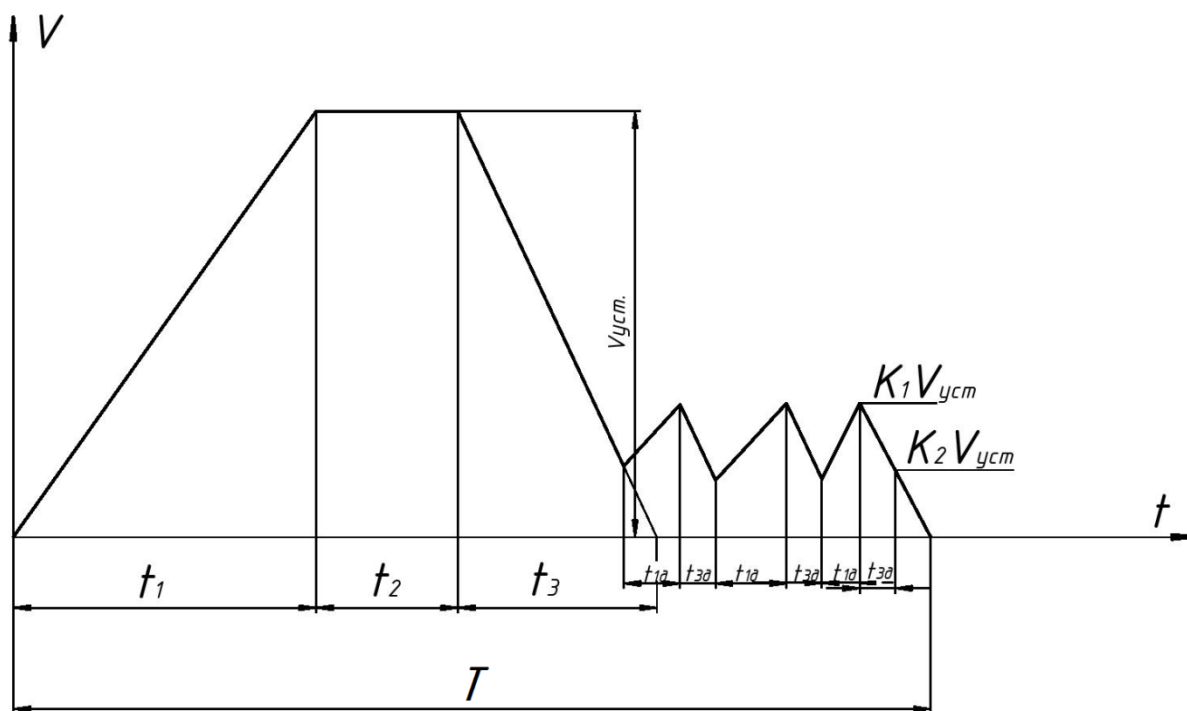


Рис 1. Диаграмма скорости кранового привода.

Для участков разгона основное уравнение движения привода имеет следующий вид:

$$M_1 = kM_c + J \frac{d\omega}{dt}.$$

Если разделить правую и левую часть уравнения (1) на момент статического сопротивления (M_c), то

$$f_1 = M_1 / M_c = k + m_g \omega'_1 \quad (1)$$

где

k – коэффициент загрузки кранового механизма;

$m_g = \frac{J}{M_c}$ – коэффициент массивности привода.

Аналогично записывается уравнение движения привода для установившегося движения

$$f_2 = \frac{M_2}{M_c} = k.$$

Тогда выражение коэффициента эквивалентного момента на валу двигателя можно представить в следующем виде:

$$\frac{M_3}{M_c} = \gamma_3 = \sqrt{\frac{f_1^2 t_1 + f_2^2 t_2 + f_3^2 t_3 + n f_1^2 t_{10} + n f_3^2 t_{30}}{\beta_1 t_1 + t_2 + \beta_3 t_3 + \beta_{10} t_{10} n + \beta_{30} t_{30} n}}.$$

Или с учётом коэффициентов, характеризующих диаграмму скорости имеем:

$$\gamma_3 = \sqrt{\frac{k^2 + (1 + k_v n)(2nk_v - nk_v^2 + 1) \frac{(1 + k_0)^2}{k_0} \lambda E_\lambda C^2}{\frac{1}{\lambda}(1 - \beta_0) + \beta_0}}, \quad (2),$$

где

n – число дополнительных включений;

$K_v = \frac{V_1}{V_{ном}}$ – отношение максимальной скорости дополнительного включения к

установившейся скорости механизма;

$\lambda = \frac{V_{ном}}{L/T}$ – степень полноты диаграммы скорости;

L – длина перемещения механизма;

T – время цикла;

$K_a = \frac{a_1}{a_3}$ – отношение между ускорениями при пуске и останове;

$E_\lambda = \frac{\lambda^2}{2(\lambda - 1)}$ – коэффициент, характеризующий вид диаграммы скорости;

$C = m_g \frac{Li}{RT^2}$ – динамический коэффициент, характеризующий динамичность привода.

Из уравнения (2) можно найти оптимальную диаграмму скорости при которой эквивалентный момент на валу двигателя достигает своего минимального значения. Без учета изменения коэффициента ухудшения охлаждения от степени полноты диаграммы функция $\gamma_3(\lambda)$ достигает своего минимума при условии

$$\left[K^2 + (1 + K_v m)(2nK_v^2 + 1) \frac{(1 + K_a)^2}{K_a} \frac{\lambda^3}{2(\lambda - 1)} C^2 \right]' = 0,$$

$$C^2 (1 + K_v n)(2nK_v - nK_v^2 + 1) \frac{(1 + K_a)^2}{K_a} [6\lambda^2(\lambda - 1) - 2\lambda^3] = 0,$$

$$\lambda_{онм} = 1,5.$$

Зная степень полноты диаграммы скорости, легко установить номинальную скорость механизма, при которой эквивалентный момент на валу двигателя достигает своего минимального значения.

Полученное значение оптимальной скорости соответствует минимуму кривизны уравнения, так как

$$V_{ном} = 1,5L / T;$$

$$V_{ном} = \frac{1}{1,5} V_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{опт}} V_{\Delta},$$

где V_{Δ} – максимальная скорость при треугольной диаграмме движения механизма.

Таким образом, выбор оптимальной скорости движения механизма определяется решением кинематической задачи и не зависит от моментов инерции и статического сопротивления механизма. Оптимальная диаграмма скорости всегда имеет степень полноты диаграммы $\lambda = 1,5$ и не зависит от числа дополнительных включений, а коэффициент эквивалентного момента на валу механизма находится из выражения:

$$\gamma_{\Sigma} = \sqrt{\frac{K^2 + (1 + K_v n)(2nK_v^2 + 1) \frac{(1 + K_a)^2}{K_a} 3,375c^2}{\frac{1}{\lambda}(1 - \beta_0) + \beta_0}}.$$

Для частного случая, когда $K_a = 1$:

$$\gamma_{\Sigma} = \sqrt{\frac{K^2 + (1 + K_v n)(2nK_v^2 + 1) 13,5c^2}{0,666 + \beta_0}}.$$

Расчеты показали, что для различных режимов работы крановых приводов численные значения выражения:

$$(1 + K_v n)(2nK_v - nK_v^2 + 1) \frac{(1 + K_a)^2}{K_a} E_{\lambda} \lambda,$$

при степени полноты диаграммы скорости близкой к оптимальной, практически не влияют на величину эквивалентного момента и определяется динамическим коэффициентом "С" и числом дополнительных включений (n). В тех случаях, когда степень полноты диаграммы $\lambda \geq 2$, численное значение выражения резко возрастает.

Характерным примером неудачного выбора номинальной скорости механизма является механизм передвижения мостового крана МГК10/10, работающий на длине 10 м,

при номинальной скорости механизма 120 м/мин. Простые расчеты показывают, что степень полноты диаграммы в этом случае $\lambda \geq 2$ и, как следствие, частые выходы из строя двигателей механизма передвижения моста. Кроме работы привода с двигательным остановом следует рассмотреть и работу привода механизмов с механическими тормозами. В отличие от рассмотренной выше трехпериодной диаграммы скорости, при работе привода с механическими тормозами, двигатели привода работают только на участках разгона и установившегося движения. В этом случае, уравнение эквивалентного момента на валу двигателя имеет вид:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + n M_{10}^2 t_{10}}{T \beta_{\text{э}}}},$$

а коэффициент эквивалентного момента:

$$\gamma_{\text{э}} = \sqrt{\frac{f_1^2 t_1 + f_2^2 t_2 + n f_{10}^2 t_{10}}{T \beta_{\text{э}}}},$$

где

$$\gamma_{\text{э}} = M_{\text{э}} / M_{\text{с}};$$

$$f_1 = \frac{M_1}{M_{\text{с}}} = K + m_g \omega_1';$$

$$f_2 = \frac{M_2}{M_{\text{с}}} = K;$$

$$n f_{10} = \frac{n M_{10}}{M_{\text{с}}} = K + m_g \omega_{10}';$$

$$\gamma_{\text{э}} = \sqrt{\frac{K^2 + (1 + n K_v) [2 K \lambda C + E_{\lambda} \lambda C^2 (2 n K_v - n K_v^2 + 1)]}{\frac{1}{\lambda} (1 - \beta_0) + \beta_0}}.$$

Поскольку при работе привода с механическими тормозами выражение коэффициента эквивалентного момента подобно уравнению (2), то и для данного режима работы оптимальная степень полноты диаграммы скорости сохранит свое значение, т.е. $\lambda = 1,5$.

Проведенная оптимизация по эквивалентному моменту не учитывает влияния степени полноты диаграммы на величину коэффициента ухудшения охлаждения двигателя. Если учесть влияние коэффициента ухудшения охлаждения двигателя в периоды

неустановившегося движения механизма на величину эквивалентного момента, то численное значение коэффициента эквивалентного момента возрастет в отношении:

$$\gamma_{\beta} = \sqrt{\frac{\lambda}{1 + \beta_0(\lambda - 1)}}.$$

Выводы:

1. Полученные соотношения позволяют осуществить выбор оптимальной скорости движения механизма, не зависящей от момента инерции и статического сопротивления механизма.
2. Выведенные уравнения позволяют достаточно точно и просто рассчитать величину эквивалентного момента на валу двигателя кранового привода при постоянной длительности интервалов между включениями (I / h) и длительностью работы (I / μ) .

Список литературы

- 1) Андреев В. П. Основы электропривода / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. - М.: Госэнергоиздат, 1963.- 772 с.
- 2) Борисов Ю. М. Электрооборудование подъемно-транспортных машин / Ю. М. Борисов, М. М. Соколов - М.: Машиностроение, 1971. 376 с.
- 3) Сорокин П. А. Электрооборудование и системы управления подъемно-транспортными машинами / П. А. Сорокин, Д. М. Крапивин, М. Н. Хальфин, А. В. Редькин, В. П. Папирняк - Тула: ТулГУ, 2003. 380 с.