

УДК 62.50

С.С.Воробьев, М.С.Паляницын (4 курс, СПГИ(ТУ)), Б.Н.Куценко, к.т.н., доц.  
СПИМаш

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПУСКА ТЯЖЕЛЫХ МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ

Для широкого класса роторных технологических машинных агрегатов мельничного типа в горнодобывающей промышленности, а также для технологических вибрационных агрегатов с дебалансными возбудителями характерны особые условия запуска приводного двигателя. Эти условия определяются тем, что при запуске двигателя обрабатываемый материал или мощный вибрационный возбудитель представляет собой сосредоточенную массу, эксцентрично расположенную относительно оси вращения исполнительного устройства роторного типа. Такого рода особенности машинных агрегатов диктуют повышенные требования к характеристике приводного двигателя, пусковой вращающий момент которого должен обеспечивать при запуске преодоление неуравновешенного статического момента, обусловленного эксцентрично сосредоточенным обрабатываемым материалом. Проблема приобретает особенно острый характер для установок, эксплуатируемых в экстремальных климатических условиях, когда обрабатываемый материал при запуске двигателя представляет собой компактный твердый сегмент, жестко сосредоточенный в эксцентричном положении относительно оси вращения исполнительного устройства.

Выбор приводного двигателя в рассматриваемых агрегатах по условиям осуществимости запуска приводит к тому, что номинальная мощность двигателя оказывается чрезвычайно завышенной по сравнению с величиной, требуемой для работы технологического агрегата на установленном номинальном нагрузочно-скоростном режиме. В результате приводные двигатели в агрегатах рассматриваемого класса работают на режимах с пониженным к.п.д., что приводит к значительным потерям энергии в пределах срока эксплуатации агрегатов.

Рациональный компромисс между противоречивыми требованиями, предъявляемыми к приводным двигателям, по условиям их работы при запуске и на номинальном скоростном режиме агрегата, можно обеспечить, применяя импульсный режим запуска в виде последовательной раскачки неуравновешенного исполнительного устройства до выхода его в режим циклического вращения. Наиболее эффективный режим запуска раскачиванием осуществляется, если на каждом полупериоде колебаний агрегата на него действует со стороны двигателя вращающий момент, согласованный по знаку с текущей угловой скоростью двигателя. В этом низкочастотном процессе допустимой схематизацией первого приближения для раскачиваемого машинного агрегата может служить динамическая модель в виде физического маятника.

Дифференциальное уравнение движения машинного агрегата при запуске двигателя раскачиванием по указанной схеме можно записать в виде

$$I \ddot{\varphi} + m g R \sin \varphi = M_e \operatorname{sign} \dot{\varphi}, \quad (1)$$

где  $M_e = M_d \eta_m$ ;  $M_d$  и  $\eta_m$  – модуль пускового вращающего момента двигателя, приведенного к скорости вращения исполнительного устройства, и механический к.п.д. машинного агрегата при запуске;  $I$  – приведенный момент инерции машинного агрегата относительно оси вращения исполнительного устройства;  $\varphi$  – угол поворота ротора исполнительного устройства;  $m$  – масса обрабатываемого материала;  $R$  – расстояние от оси

вращения исполнительного устройства до центра тяжести сосредоточенного сегмента обрабатываемого материала при запуске.

В работе выполнена косвенная оценка продолжительности фазы раскачивания при запуске по количеству полупериодов колебаний машинного агрегата и получено уравнение, связывающее модули начального и конечного углов поворота агрегата на  $k$ -м шаге раскачки:

$$\mu_e(\alpha_{k-1} + \alpha_k) = \cos \alpha_{k-1} - \cos \alpha_k, \quad (2)$$

где  $\mu_e = M_e / (mgR)$ ;  $\alpha_{k-1} = |\varphi_{k-1}|$ ;  $\alpha_k = |\varphi_k|$ .

Период колебаний  $T$  физического маятника, соответствующий амплитуде  $a$ , составляет

$$T = 4\sqrt{l/g} K(z), \quad (3)$$

где  $l$  – приведенная длина физического маятника,  $l = I/(mR)$ ;  $I$  – момент инерции неуравновешенного ротора агрегата;  $K(z)$  – полный эллиптический интеграл первого рода с модулем  $z = \sin(a/2)$ .

С учетом выражения (3) время раскачки  $t_p$  при запуске агрегата в зависимости от реализуемого значения  $\mu_e$  можно определить по формуле

$$t_p = 2\sqrt{\frac{l}{g}} \sum_{j=1}^{\bar{N}(\mu_e)} K(z_j), \quad (4)$$

где  $z_j = \sin(a_j/2)$ ;  $a_j$  –  $j$ -й элемент кортежа амплитуд  $A$ , соответствующего данному  $\mu_e$ .

Вычисляя в выражении (4) суммы для различных значений  $\mu_e$ , получим соответствующие значения относительного времени раскачки  $\bar{t}_p = t_p \sqrt{g/l}$  при запуске двигателя (табл. 1).

Таблица 1.

			$\bar{t}_p$
	0.05	18	75.2
	.10	10	39.2
	.20	4	14.6
	.30	3	12.2
	.40	2	7.4
	.50	1	3.4
	.60	1	3.6
	.70	1	4.1

Для сравнительных оценок можно иметь в виду, что относительная величина  $\bar{T}$  периода малых (изохронных) колебаний физического маятника составляет:  $\bar{T} = 2\pi$ .

Абсолютное время раскачки конкретного машинного агрегата определяется с использованием табличного значения  $\bar{t}_p$  по формуле (3), в которой инерционные свойства исследуемого агрегата характеризуются приведенной длиной  $l$  модельного физического маятника.

Зависимости  $\alpha_k(\alpha_{k-1})$  и величины  $\bar{N}$  и  $\bar{t}_p$  представляют собой универсальные характеристики процесса раскачки при запуске двигателя по рассмотренной схеме. Эти величины инвариантны относительно инерционных характеристик исследуемых агрегатов и зависят только от значения  $\mu_e$  относительного эффективного вращающего момента двигателя при запуске.