

УДК: 621.81 (075.3)

## ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВОДА БУТЫЛОЧНО-МОЕЧНОЙ МАШИНЫ

Аванесьянц А.Г., кандидат техн. наук, доцент  
Одесская национальная академия пищевых технологий

*В работе экспериментально решена задача по определению приведенного момента инерции и динамических нагрузок, действующих в системе привода бутылочно-моечной машины.*

*In-process experimentally a task is decided on determination of the resulted moment of inertia and dynamic loadings, operating in the system of drive of bottle-washing mashing.*

Ключевые слова: динамика, эксперимент, привод, бутылочно-моечная машина.

Практически любая бутылочно-моечная машина представляет собой сложную динамическую систему с последовательно и параллельно соединенными звеньями, находящимися в сложном относительном движении. В общем случае эти звенья связаны между собой упругими связями. Однако, считая эти связи жесткими, а приведенный к валу двигателя момент инерции рассматриваемой системы  $I_n = \text{var}$ , уравнение движения машинного агрегата будет иметь вид:

$$I_n \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dI_n}{dt} = M_\delta - M_c \quad (1.1)$$

Здесь:  $I_n$  – приведенный момент инерции системы;  $\varphi$  и  $\omega$  – угол поворота и угловая скорость звена приведения;  $M_\delta$  – движущий момент;  $M_c$  – момент сопротивления.

Исследования показали, что влияние звеньев на переменность  $I_n$  незначительно, поэтому с достаточной степенью точности можно считать  $I_n$  постоянным. Тогда (1.1) преобразуется к виду

$$I_n \frac{d\omega}{dt} = M_\delta - M_c \quad (1.2)$$

В любой конструкции бутылочно-моечной машины теоретическое определение  $I_n = I_n(\varphi)$  представляет весьма сложную практически сложно реализуемую задачу. Поэтому она была решена экспериментальным путем – известным методом выбега. Дело в том, что необходимо было решение практической задачи расчета на прочность крыльчатки тормозного устройства, которое установлено на валу приводного двигателя. Практика эксплуатации машины НАМА-28 показала, что она достаточно часто ломалась, потому что расчет ее параметров проводился по номинальному моменту двигателя.

Как только прекращается питание на электродвигатель движущий момент  $M_\delta = 0$ , и тогда на основании (1.2) уравнение движения машинного агрегата примет вид:

$$I_n \frac{d\omega}{dt} = -M_c \quad (1.3)$$

Для определения момента инерции, интегрируем обе части уравнения (1.3)

$$\int_{\omega_0}^0 I_n d\omega = \int_0^{t_1} (-M_c) dt \quad (1.4)$$

Здесь  $\omega_0$  – угловая скорость вала привода в момент начала торможения, т.е. угловая скорость установившегося движения вала двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_\partial}{30} \quad (1.5)$$

$n_\partial$  – частота вращения двигателя;  $t_1$  – время выбега (время от начала торможения до полной остановки машины).

Принимая  $M_c = const$  и, интегрируя (1.4), получаем

$$I_n \omega_0 = M_c t_1 \quad (1.6)$$

или

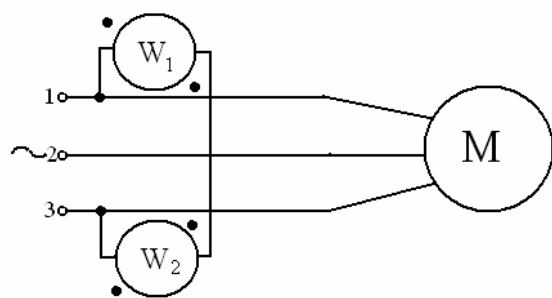
$$I_n = \frac{30 t_1 M_c}{\pi n_\partial} \quad (1.7)$$

Из (1.7) видно, что для определения приведенного момента инерции  $I_n$  необходимо знать время выбега  $t_1$ , момент сопротивления  $M_c$  и угловую скорость вала двигателя в момент торможения. Как уже отмечалось, все эти параметры были найдены экспериментально, в условиях эксплуатации машины НАМА-28.

Цикл работы привода этой машины состоит из двух периодов: рабочего хода – движение транспортера под нагрузкой и холостого хода – движения без нагрузки. В первый из периодов привод передает максимальную нагрузку, а в момент выстоя – минимальную. Поэтому экспериментально определялись

время выбега, потребляемая мощность (следовательно, момент сопротивления) и частота вращения вала двигателя во время рабочего и холостого ходов.

Для получения этих параметров было необходимо отключение тормоза, что осуществлялось подведением независимого питания к электромагниту. Таким образом, пружины прижимного устройства тормоза были в постоянно сжатом состоянии и неподвижный конус не соприкасался с крылаткой – тормозным конусом, сидящим на валу двигателя.



**Рис. 1 – Электрическая схема определения мощности**

В таблице 1 приведены результаты экспериментальных данных по определению времени выбега привода бутылочно-мочной машины НАМА-28. Согласно таблице среднее время выбега привода без тормоза во время рабочего хода составляет  $t_p = 2,115$  секунды, а во время холостого хода  $t_x = 2,54$  секунды.

При включенном тормозе время выбега во время рабочего хода равно  $t_{pt} = 0,815$  секунд, а во время холостого хода  $t_{xm} = 1,495$  секунды.

Определение мощности, передаваемой приводом и момента сопротивления  $M_c$ , проводилось по схеме, приведенной на рис. 1.

Последовательные обмотки ваттметров подключаются к любым двум проводам сети, а параллельно – на напряжения между этими проводами и третьим проводом. Так как провода, в которые включены последовательные обмотки, выбираются произвольно, то схема включения двух ваттметров может быть составлена тремя различными способами. Необходимо только, чтобы генераторные концы (отмечены звездочкой) присоединялись обязательно к тому проводу сети, в который включена последовательная обмотка.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень часу вибега

№ замера	Время выбега с тормозом, сек.		Время выбега без тормоза, сек.	
	Рабочий ход	Холостой ход	Рабочий ход	Холостой ход
1	0,85	1,5	2,1	2,4
2	0,85	1,5	2,15	2,4
3	0,9	1,35	2,2	2,5
4	0,8	1,6	2,1	2,6
5	0,9	1,5	2,15	2,65
6	0,9	1,55	2,2	2,4
7	0,9	1,6	2,1	2,5
8	0,8	1,5	2,1	2,45
9	0,85	1,4	2,0	2,75
10	0,9	1,45	2,05	2,75

Таблиця 2 – Потребляемая мощность

№ замера	Период выстоя транспортера		Период движения транспортера	
	$P_1$ , кВт	$P_2$ , кВт	$P_1$ , кВт	$P_2$ , кВт
1	0,78	0,78	2,03	2,03
2	0,8	0,8	2,03	2,03
3	0,85	0,85	2,04	2,04
4	0,9	0,9	2,04	2,04
5	0,9	0,9	2,03	2,03
6	0,86	0,86	2,04	2,04
7	0,86	0,86	2,04	2,04
8	0,9	0,9	2,04	2,04
9	0,8	0,8	2,03	2,03
10	0,85	0,85	2,04	2,04

Известно, что мощность нагрузки сети  $P$ , определяемая таким путем, будет равна

$$P = P_1 + P_2 \quad (1.8)$$

где:  $P_1$  – показание первого ваттметра;  $P_2$  – показание второго ваттметра.

В таблице 2 приведены данные измерений мощностей, проведенных в процессе работы машины НАМА-28.

Пользуясь данными таблицы 1.2 и равенством (1.8) находим, что мощность, потребляемая приводом в период выстоя транспортера равна  $P_x = 1,798$  кВт, а период рабочего хода  $P_p = 4,07$  кВт. Одновременно определялась угловая скорость вращения вала двигателя. Было определено, что частота вращения вала двигателя во время выстоя транспортера равна  $n_x = 1441$  об/мин, а во время рабочего хода  $n_p = 1423$  об/мин.

Определение приведенного динамического момента. Таким образом, зная мощность, потребляемую двигателем и частоту вращения его вала можно найти момент сопротивления в период начала торможения как при холостом, так и при рабочем ходе транспортера по формуле:

$$T_c = \frac{P \cdot 10^3}{\omega} \eta \quad (1.9)$$

где:  $\eta = 0,86$  – КПД асинхронного двигателя /1/;  $\omega = \frac{\pi \cdot n_d}{30}$  – угловая скорость вала двигателя.

Из приведенного следует, что момент сопротивления, действующий на валу приведения в период холостого хода равен ( $\omega_x = \frac{\pi \cdot n_x}{30} = \frac{\pi \cdot 1441}{30} = 150,8 \text{ рад/с}$ )

$$T_{cx} = \frac{1,798 \cdot 10^3}{150,8} \cdot 0,86 = 10,25 \text{ Нм} \quad (1.10)$$

а в период рабочего хода ( $\omega_p = \frac{\pi \cdot n_p}{30} = \frac{\pi \cdot 1423}{30} = 149 \text{ рад/с}$ )

$$T_{cp} = \frac{4,07 \cdot 10^3}{149} \cdot 0,86 = 23,5 \text{ Нм} \quad (1.11)$$

Согласно (1.7) приведенный момент инерции рассматриваемой системы будет равен – во время выстоя транспортера

$$I_{nx} = \frac{T_{cx} \cdot t_x}{\omega_x} = \frac{10,25 \cdot 2,54}{150,8} = 0,1726 \text{ Нмс}^2 \quad (1.12)$$

– во время рабочего хода

$$I_{np} = \frac{T_{cp} \cdot t_p}{\omega_p} = \frac{23,5 \cdot 2,115}{149} = 0,3336 \text{ Нмс}^2 \quad (1.13)$$

Зная приведенный момент инерции, динамический момент, действующий на вал приведения (а в данном случае и на конус крылатки тормоза), можно определить по формуле:

$$T_{\partial} = \frac{I_n \omega}{t_m} \quad (1.14)$$

Где  $t_m$  – время выбега бутылочно-моечной машины с включенным тормозом.

Используя равенство (1.14) находим, что приведенный динамический момент период холостого хода транспортера равен

$$T_{\partial x} = \frac{I_{nx} \omega_x}{t_{mx}} = \frac{0,1726 \cdot 150,8}{1,495} = 17,41 \text{ Нм} \quad (1.15)$$

а в период рабочего хода

$$T_{\partial p} = \frac{I_{np} \omega_p}{t_{mp}} = \frac{0,3336 \cdot 149}{0,815} = 61 \text{ Нм} \quad (1.16)$$

Отсюда видно, что максимальный динамический момент, воспринимаемый крылаткой при торможении бутылочно-моечной машины, действует в период рабочего хода и в 2,6 раза превышает номинальный момент приводного двигателя.

### Литература

1. Вульфсон И.И., Козловский М.З. Нелинейные задачи динамики машин. – Л., Машиностроение. – 1968. – 264 с.
2. Умнов Н.В. Графический метод решения задач динамики механизмов с вариатором. – Машиноведение. – № 2, 1967. – 302 с.