

любая жидкость и смазочное масло в том числе [1].

Для испытаний использовался одноцилиндровый компрессор производительностью 0,2 м<sup>3</sup>/мин. В соответствии с целями эксперимента классический монолитный блок цилиндра был заменен на блок, состоящий из трех составных частей, представляющих собой электромагнитные системы с катушками возбуждения (см. рисунок).

Поршень, лишенный уплотнительных колец, представляет собой подвижную часть этой системы. Между поршнем и

внутренней частью цилиндра размещался массив МЖ, удерживаемый там магнитным полем. Канавки (протоки) на цилиндре играли роль концентраторов напряженности поля и способствовали росту объемных магнитных сил МЖ, противостоящих давлению в рабочей камере компрессора.

При испытаниях использовалась МЖ, синтезированная на основе смазочного масла К-17 и стабилизированного магнита с намагниченностью насыщения  $M_s = 74$  кА/м и  $\varphi = 0,35$ . Удерживаемый МЖ перепад давлений  $\Delta P = P_2 - P_1$

искусственно ступенчато изменился.

За счет изменения толщины пластинчатого клапана предел достигнутого  $\Delta P$  составлял 0,48 МПа.

Сопоставление работы компрессора со штатной комплектацией элементов, т.е. при наличии уплотнительных колец, проведенной предварительно, с работой без колец, но с МЖ показало уменьшение маслонусоса в 5-8 раз. Унос феррофазы не фиксировался.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Старовойтов В.А. Использование магнитных жидкостей для герметизации вращающихся частей. – Вестн.КузГТУ. 2005.- № 2 (46). - С. 23-25.

□ Автор статьи:

Старовойтов

Владимир Алексеевич

- канд. техн/ наук, доц. каф. электропривода и автоматизации

**УДК 622: 62-523.2**

**В.М. Завьялов, И.А. Куприянов**

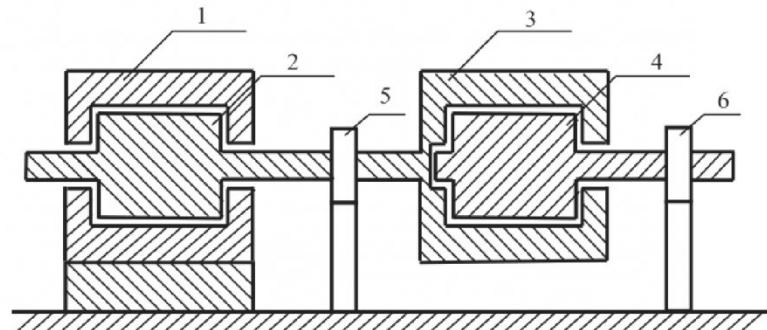
## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ СДВОЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Работа большинства горных машин сопровождается достаточно большими вибрациями корпуса, что негативно отражается на надежности установленного там оборудования. Большая часть вибраций обусловлена реакцией машины на изменяющуюся нагрузку и наличием упругой податливости в элементах рамы, связывающих статоры приводных двигателей с землей [1]. Помимо этого, резкопеременный характер нагрузки способствует возникновению упругих колебаний в элементах трансмиссии, которые негативно влияют на надежность этих элементов.

Отдельно задача стабилизации упругого момента в транс-

мисии была рассмотрена в [2], а задача стабилизации упругого момента в раме горной машины была рассмотрена в [3]. Однако одновременно стабилизировать

обе эти величины в электроприводе со стандартным двигателем невозможно, так как на механическую систему действует одно управляющее воздействие



*Рис.1. Конструктивная схема сдвоенного двигателя: 1 – статор первого двигателя; 2 – ротор первого двигателя; 3 – статор второго двигателя; 4 – ротор второго двигателя; 5, 6 – подшипниковые опоры*

– электромагнитный момент.

Решить задачу одновременной стабилизации упругих моментов со стороны статора и трансмиссии возможно с использованием сдвоенного двигателя, упрощенная конструкция которого схематически изображена на рис. 1.

В данной конструкции статор первого двигателя крепится к раме горной машины. Его ротор жестко связан со статором второго двигателя и может свободно вращаться, а ротор второго двигателя подсоединяется к трансмиссии горной машины.

Расчетная схема горной машины со сдвоенным двигателем представлена в виде четырехмассовой системы на рис. 2. Математическая модель такой механической системы описывается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\omega}_1 &= \frac{1}{J_1}(M_1 - M_{12}); \\ \dot{\omega}_2 &= \frac{1}{J_2}(M_1 - M_2); \\ \dot{\omega}_3 &= \frac{1}{J_3}(M_2 - M_{34}); \\ \dot{\omega}_4 &= \frac{1}{J_4}(M_{34} - M_C); \\ \dot{M}_{12} &= C_{12}\omega_1; \\ \dot{M}_{34} &= C_{34}(\omega_3 - \omega_4), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  – частоты вращения первой, второй, третьей и четвертой масс;  $M_1, M_2$  – электромагнитные моменты первого и второго двигателей;  $M_{12}$  – упругий момент между статором первого двигателя и землей;  $M_{34}$  – упругий момент между ротором второго двигателя и рабочим органом;  $J_1$  – момент инерции статора первого двигателя;  $J_2$  – суммарный момент инерции ротора первого двигателя и статора второго двигателя;  $J_3$  – момент инерции ротора второго двигателя;  $J_4$  – момент инерции рабочего органа;  $M_C$  – момент сопротивления;  $C_{12}, C_{34}$  – коэффициенты жесткости упругих связей.

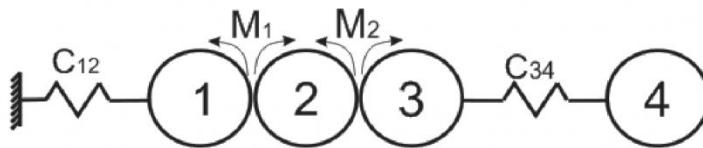


Рис. 2. Четырёхмассовая механическая система со сдвоенным двигателем

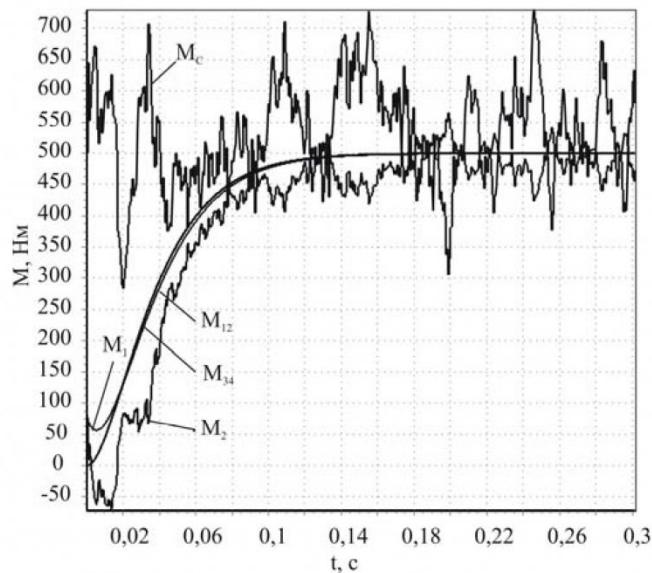


Рис. 3. Временные зависимости моментов

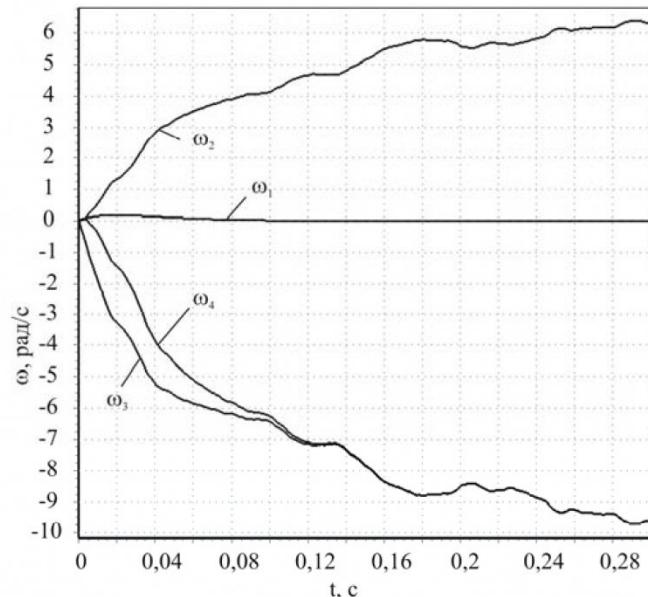


Рис. 4. Временные зависимости частот вращения

Проведя синтез системы управления для сдвоенного двигателя с помощью аналитического конструирования агрегированных регуляторов [4] при задании основных инвариантных многообразий в виде:

$$\Psi_1 = M_{12} - M_{12}^* = 0;$$

$\Psi_2 = M_{34} - M_{34}^* = 0,$   
где  $M_{12}^*, M_{34}^*$  – желаемые значения соответствующих упругих моментов, получим зависимости управляющих моментов, как для рассмотренных ранее систем [2, 3].

Применительно к сдвоенному двигателю (1) эти зависимости будут иметь вид:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{12} - J_1 \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \omega_1 + \\ &+ \frac{J_1}{T_1 T_2 C_{12}} (M_{12S}^* - M_{12S}); \\ M_2 &= M_{34} - J_3 (\omega_3 - \omega_4) \times \\ &\left( \frac{1}{T_3} + \frac{1}{T_4} \right) + \frac{J_3}{J_4} (M_{34} - M_C) + \\ &+ \frac{J_3}{T_3 T_4 C_{34}} (M_{34}^* - M_{34}). \end{aligned}$$

На рис. 3- 4 представлены

результаты моделирования работы, управляемого сдвоенным двигателем с параметрами:  $J_1=3$  кг·м<sup>2</sup>;  $J_2=1,5$  кг·м<sup>2</sup>;  $J_3=1$  кг·м<sup>2</sup>;  $J_4=3$  кг·м<sup>2</sup>;  $C_{12}=50000$  Н·м;  $C_{34}=5000$  Н·м;  $T_1=T_2=T_3=T_4=0,02$ ;  $M_{12}^*=M_{34}^*=500$  Н·м. Анализируя полученные зависимости можно сделать вывод, что упругие напряжения в раме и трансмиссии стабилизируются, а возмущающие воздействия поступающие со стороны нагрузки, гасятся за счет управляемого момента  $M_2$  и динамических моментов, вызванных изменениями скоростей второй

и третьей масс.

Таким образом, предлагаемую систему регулируемого электропривода со сдвоенным двигателем можно рекомендовать к применению в горных машинах с упругой податливостью рамы и трансмиссии, для уменьшения уровня вибраций и повышения их надежности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаревич И.Ф., Докукин А.В. Динамика горных машин с упругими связями. - М.: Наука, 1975. 212 с.
2. Завьялов В.М. Подавление упругих колебаний в горных машинах с двухмассовой расчетной схемой // Вестн. КузГТУ, 2005, №6. – С 67-69.
3. Завьялов В.М. Подавление упругих колебаний в горных машинах с упругой рамой // Вестн. КузГТУ. 2006. № 1. -С. 65-66
4. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. - Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994. 344 с.

□ Авторы статьи:

Завьялов Валерий Михайлович - канд.техн.наук, доц. каф. электропривода и автоматизации	Куприянов Иван Александрович - инженер каф. электро- привода и автоматизации
---	---