

## РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В РЕЖИМЕ БУКСОВАНИЯ

**Введение.** Для многих электромеханических систем, таких как главные приводы шлифовальных станков, приводы подач пил для порезки горячего металла и др., режимы буксования являются нормальными рабочими режимами, однако для других электромеханических систем, таких как главные приводы блюмингов, слябингов, обжимных прокатных станов, режимы буксования валков являются аварийными и могут приводить к поломкам оборудования. Режимы буксования, как правило, сопровождаются колебаниями рабочего органа, при которых динамические моменты могут многократно превышать номинальные значения моментов, поэтому вопросы снижения динамических моментов в процессе буксования машин являются актуальными.

**Постановка проблемы.** Характер динамических процессов в режимах буксования машин в значительной степени определяются наличием упругих элементов в кинематической цепи электромеханической системы от приводного двигателя до рабочего органа. Возникновение колебаний в режиме буксования в основном обусловлено наличием падающего участка в характеристике внешнего трения. Причем, такой падающий участок особенно характерен при работе электромеханических систем на низких скоростях движения рабочего органа, что часто сопровождается его неплывным движением.

**Анализ литературы.** Синтез таких систем с оптимальными по квадратичным критериям качества регуляторами рассмотрен в [1-2]. Однако синтезированные таким образом системы обладают различными динамическими характеристиками при работе на восходящем и падающем участках характеристики внешнего трения.

**Цель статьи.** Целью данной статьи является синтез робастного управления двухмассовой электромеханической системы в режиме буксования для стабилизации динамических характеристик при изменении рабочей точки на характеристике внешнего трения.

**Изложение материала исследования, полученных научных результатов.** Рассмотрим математическую модель электромеханической системы в виде двухмассовой системы [1-2]. Введем вектор состояния  $X(t)$ , компонентами которого являются: скорость вращения рабочего органа  $\omega_2(t)$ , момент упругости  $M_{y12}(t)$ , скорость вращения двигателя  $\omega_1(t)$ , ток якорной цепи  $I_a(t)$ , напряжение на якорной цепи  $U_a(t)$ :

$$\bar{X}^T(t) = \{\omega_2(t), M_{y12}(t), \omega_1(t), I_a(t), U_a(t)\}.$$

Введем вектор внешних воздействий  $U(t)$ , компонентами которого являются входное напряжение тиристорного преобразователя  $U_{вх}(t)$  и момент сопротивления  $M_c(t)$ :

$$\bar{U}^T(t) = \{U_{вх}(t), M_c(t)\}.$$

Рассмотрим построение робастной системы управления для работы на различных участках характеристики внешнего трения двухмассовой электромеханической системы. Нахождение оптимального регулятора, минимизирующего  $H^2$  – норму, сводится к решению двух уравнений Риккати по управлению и по фильтрации.

Рассмотрим стандартную форму уравнения состояния, вектора контролируемых параметров  $\bar{z}(t)$  и вектора измеряемых переменных  $\bar{y}(t)$ , принятую в теории робастного управления. Введем следующие компоненты вектора внешних воздействий  $\bar{w}(t)$ : задающее воздействие скорости вращения  $\omega_3(t)$ , помеха  $f_1$  измерения скорости вращения двигателя  $\omega_d$ , фиктивная помеха  $f_2$  измерения переменной состояния интегратора  $z(t)$  так, что  $\bar{w}(t) = \{\omega_3(t), f_1(t), f_2(t)\}^T$ .

Введем в вектор контролируемых переменных  $\bar{z}(t)$  ошибку  $\varepsilon(t)$  между заданным  $\omega_3(t)$  и фактическим  $\omega_d(t)$  значениями скорости вращения двигателя  $\varepsilon(t) = \omega_3(t) - \omega_d(t)$ , выходное напряжение интегратора  $z(t)$  и управляющее напряжение на входе тиристорного преобразователя  $U_{вх}(t)$  в следующем виде:  $\bar{z}(t) = \{\varepsilon(t), z(t), U_{вх}(t)\}^T$ .

Компонентами вектора измеряемых переменных  $\bar{y}(t)$  примем измеренные скорости вращения двигателя  $\omega_{ди} = z(t) + f_1(t)$  и измеренную переменную состояния интегратора  $z_{и}(t) = z(t) + f_2(t)$  так, что  $\bar{y}(t) = \{\omega_{ди}(t), z_{и}(t)\}^T$ . Введем в вектор возмущений исходной системы  $\bar{w}(t)$  первую компоненту  $M_c(t)$ , действующую на исходную систему в виде момента сопротивления, так что вектор  $\bar{w}(t)$  будет иметь следующий вид:  $\bar{w}(t) = \{M_c(t), \omega_3(t), f_1(t), f_2(t)\}$ . Подадим теперь это возмущение от момента сопротивления  $M_c(t)$  на вход

исходной системы, задав ненулевую компоненту первого элемента в первый столбец матрицы  $V_1$ . Введем также это возмущение в вектор контролируемых параметров  $\bar{z}(t)$ , задав ненулевой компонентой первый элемент матрицы  $D_{11}$ .

**Результаты моделирования.** В качестве примера рассмотрим построение робастного регулятора для главного электропривода Криворожского блюминга 1300. Двухмассовая модель достаточно хорошо аппроксимирует короткую линию главного привода [1]. Режим буксования является аварийным режимом и часто возникает в процессе захвата слитков, хотя известны случаи возникновения режима проскальзывания валков в режиме нормальной прокатки слитка. Исследуем чувствительность синтезированного робастного регулятора к изменению параметров объекта управления. В процессе буксования наиболее сильно изменяется коэффициент наклона характеристики внешнего трения  $\beta$ . Синтезируем робастный регулятор без учета характеристики внешнего трения, приняв нулевое значение коэффициента  $\beta$ . Для исследования динамических характеристик системы с синтезированным таким образом робастным регулятором примем три значения этого коэффициента: номинальный режим буксования валков, соответствующий затухающему переходному процессу; режим расходящихся колебаний; режим работы системы на восходящем участке кривой внешнего трения. В качестве примера на рис. 1 показаны переходные процессы скорости вращения валков главного привода Криворожского блюминга 1300 в режиме пробуксовки валков в системе с робастным регулятором по задающему воздействию и моменту сопротивления. Подбирая матрицы в критерии качества исходной системе удалось получить приемлемые показатели качества переходных процессов как по задающему, так и по возмущающему воздействиям. Время переходных процессов составляет около 0,7 секунд. Переходные процессы устойчивые и имеют одинаковые установившиеся значения. Для падающего участка кривой с наибольшим наклоном переходные процессы имеют наибольшее перерегулирование, а при работе на восходящем участке перерегулирование переходных процессов имеет минимальное значение. Как видно из этих графиков, с помощью одного робастного регулятора, синтезированного без учета влияния характеристики внешнего трения, удалось получить устойчивые переходные процессы для трех рассматриваемых значений коэффициентов наклона характеристики внешнего трения.

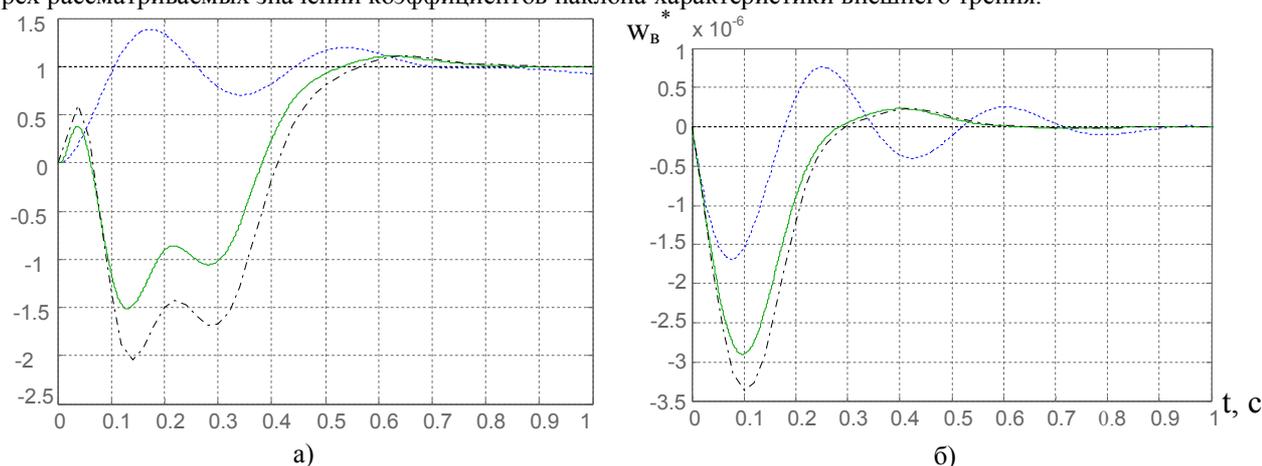


Рис.1. Переходные процессы скорости вращения валков по задающему а) и возмущающему б) воздействиям в робастной системе управления

**Выводы.** Для стабилизации динамических характеристик двухмассовой электромеханической системы в режиме буксования при ее работе на различных участках характеристики внешнего трения предложено использовать робастное управление. Синтез робастного управления сводится к решению двух уравнений Риккати по управлению по наблюдению. Подбирая весовые матрицы в критерии качества синтезируемой системы и параметр толерантности, удалось получить удовлетворительные переходные процессы при работе системы на различных участках характеристики внешнего трения.

#### Литература.

1. Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005. – 511с.
2. Кузнецов Б.И., Осичев А.В., Чаусов А.А. Оптимальное управление главным приводом блюминга в режиме пробуксовки валков. Техническая электродинамика. Киев, 2000, часть 6. С. 23-28.
3. Никитина Т.Б. Синтез многоканальных нелинейных электромеханических систем//Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2005. - №45. - С. 130 – 131.