

УДК 621.313.333

**С.В. Дубинин (канд. техн. наук, доц.), В.В. Поцеваев (канд. техн. наук, доц.)**Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
кафедра «Горная электротехника и автоматика им. Р.М. Лейбова»,  
«Автоматика и телекоммуникации»

E-mail: geantu@mail.ru.

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ  
ВЫНЕСЕННОГО ПРИВОДА ПОДАЧИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ  
ТОРМОЗОМ СКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ ГОРНЫХ МАШИН**

*Разработана математическая модель вынесенного привода подачи с электромагнитным тормозом скольжения, учитывающая статические и динамические характеристики привода нового поколения. На ее основе выполнен структурный и параметрический синтез системы стабилизации скорости.*

**Ключевые слова:** электромагнитный тормоз скольжения, планетарный редуктор, пусковой момент, математическая модель, динамические нагрузки, дифференциальные уравнения.

**Общая постановка проблемы**

Тенденция к увеличению длины лавы при разработке тонких угольных пластов вызвала необходимость повышения мощности вынесенных приводов очистных комбайнов и конвейеров. В результате был создан асинхронный электропривод с управляемым электромагнитным тормозом скольжения (ЭМТ). В связи с этим возникла проблема создания новой САУ привода подачи, учитывающая особенности статических и динамических характеристик этих приводов.

**Постановка задач исследования**

Разработать математическую модель нового привода, на основании которой выполнить структурный и параметрический синтез системы стабилизации скорости.

**Решение задач и результаты исследований**

Вынесенная система подачи (ВСП) с электромагнитной муфтой скольжения (ЭМС) более 30 лет успешно применяется для перемещения комбайнов для тонких пластов в лавах длиной до 200 м. С появлением более длинных лав появилась необходимость существенного увеличения мощности приводов ВСП. Одним из решений этой проблемы явилось создание привода с ЭМТ в качестве вариатора скорости. Это позволило помимо увеличения мощности получить ряд преимуществ, улучшающих охлаждение, параметры надежности и уменьшение габаритов привода. С точки зрения управления приводом, существенно увеличилась его электромагнитная и механическая инерционность. С другой стороны, существенно уменьшилась зависимость индуктивности обмотки возбуждения ЭМТ от тока управления из-за уменьшения степени насыщения магнитопровода в рабочем диапазоне токов. Изменению претерпели и механические характеристики привода (рис.1).

На основании результатов экспериментальных исследований разработана математическая модель собственно привода подачи с ЭМТ. В модели учтены реальные статические и динамические характеристики привода, а так же специфика нового дискретного датчика скорости вращения приводной звезды привода ВСП. На основании математической модели разработана структура и выполнен параметрический синтез системы стабилизации и управления скоростью подачи комбайна (система дифференциальных уравнений (1)).

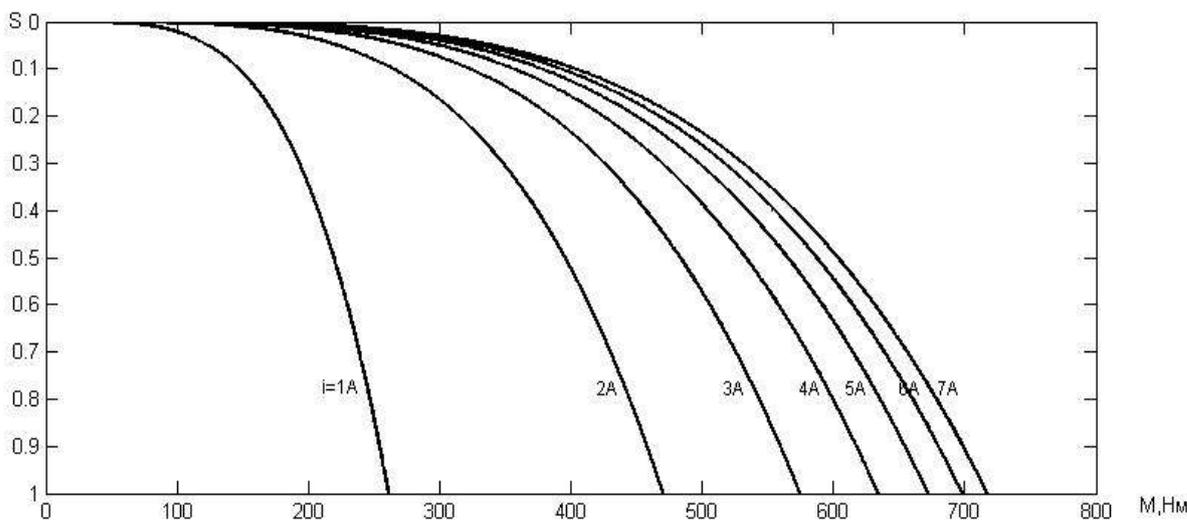


Рисунок 1 — Семейство механических характеристик ЭМТ.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 T_1 y_1' = y_0 - y_1, \quad y_0 = kf_1(\tau(\varphi'), \varphi'); \\
 T_3 y_2' = k_{\text{уд}} \left( \frac{T_2}{T_1} (y_0 - y_1) + y_1 \right) - y_2; \\
 \varepsilon = y_3 - x_2, \quad x_2 = \begin{cases} k_{x_2} y_2, & -U_n/k_{x_2} < y_2 < U_n/k_{x_2}, \\ U_n, & y_2 \geq U_n/k_{x_2}, \\ -U_n, & y_2 \leq -U_n/k_{x_2}; \end{cases} \\
 T_4 y_3' = x_3 - y_3, \quad x_3 = \begin{cases} k_{x_3} \varepsilon, & 0 < \varepsilon < U_n/k_{x_3}, \\ U_n, & \varepsilon \geq U_n/k_{x_3}, \\ 0, & \varepsilon \leq 0; \end{cases} \\
 T_3 i' = U_T/R_y - i, \quad T_3 = \frac{L_0}{R_y(1+(ai)^2)}, \\
 U_T = \frac{U_m}{\pi} \left( 1 - \cos \frac{y_3}{U_n} \left( \pi - \arccos \left( \frac{\pi R_y}{U_m} - 1 \right) \right) \right) \\
 M = M_m \arctg^2(ai) (\sqrt[4]{S}), \quad S \in [0, 1]; \\
 J_y \varphi'' = M - M_n
 \end{array} \right.$$

где  $T_1 - T_4$  — постоянные времени соответствующих динамических звеньев;  $T_3$  — временная характеристика обмотки управления ЭМТ;  $y_0$  — выходной сигнал дискретного датчика скорости с коэффициентом преобразования  $k$  и временем запаздывания  $\tau$ ;  $\varphi$  — угол поворота приводной звезды;  $k_{\text{уд}}$  — коэффициент усиления интегро-дифференцирующего звена;  $\varepsilon$  — сигнал рассогласования;  $k_{x_2}, k_{x_3}, x_2, x_3$  — коэффициенты усиления и выходные сигналы соответствующих нелинейных звеньев;  $U_n$  — напряжение ограничения выходного сигнала

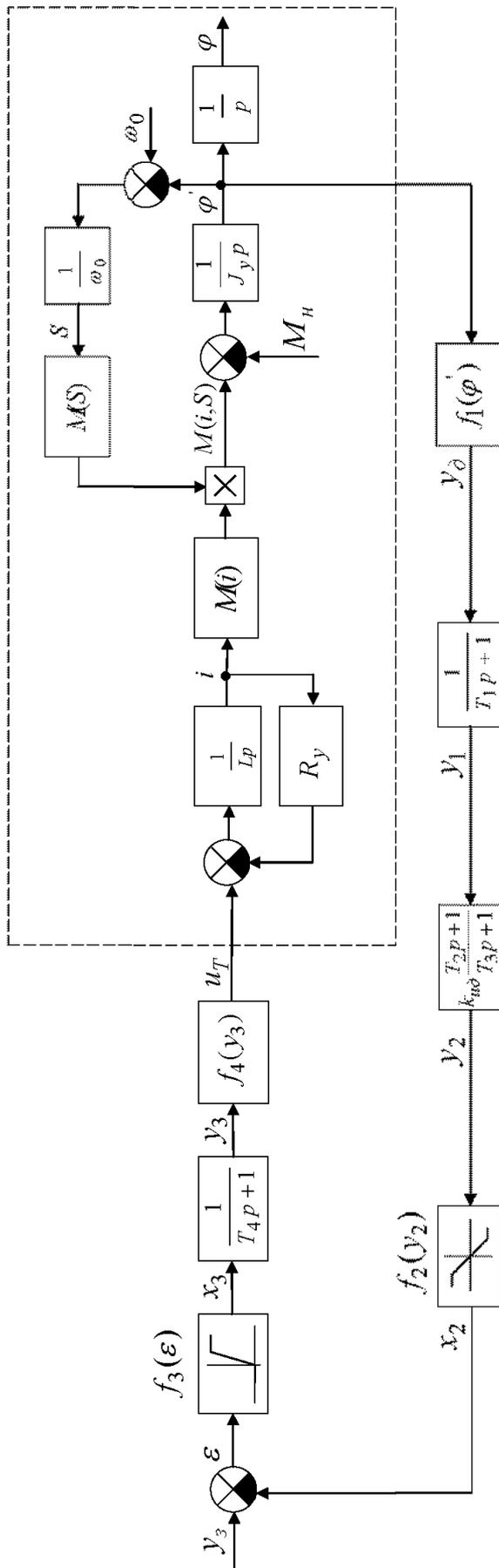


Рисунок 2 — Структурная схема автоматизированного вынесенного привода подачи с ЭМТ

нелинейных звеньев;  $U_T$  — выходное напряжение тиристорного преобразователя;  $R_y$  — активное сопротивление обмотки управления ЭМТ;  $i$  — ток управления ЭМТ;  $U_m$  — амплитуда синусоидального напряжения питания тиристорного преобразователя;  $M$  — электромагнитный момент ЭМТ;  $M_k$  — критический момент ЭМТ;  $a$  — эмпирический коэффициент, учитывающий степень насыщения магнитопровода ЭМТ;  $J_y$  — момент инерции вращающихся элементов привода, приведенный к приводной звезде;  $S$  — скольжение ЭМТ;  $M_n$  — момент нагрузки, приложенный к звезде привода.

Структурная схема автоматизированного привода представлена на рис. 2. Штриховой линией выделена часть модели, представляющая собственно модель привода с ЭМТ. Модель реализована и исследована в среде SIMULINK.

Результаты исследований качества переходных процессов изменения угловой скорости приводной звезды  $w$  (регулируемый параметр) и тока в обмотке управления ЭМТ  $i$  приведены на рисунке 3.

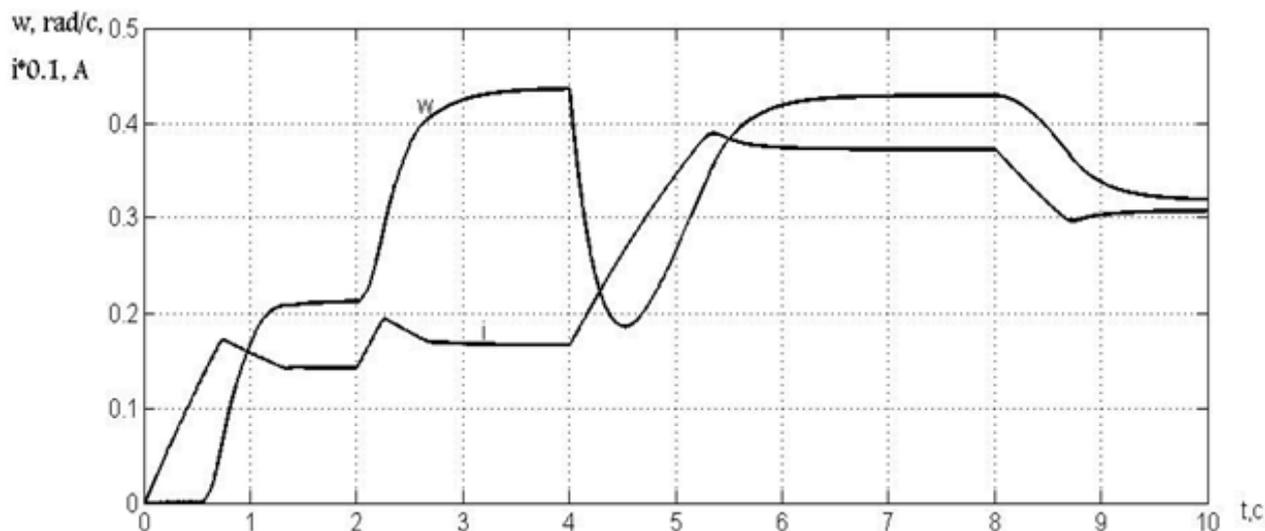


Рисунок 3 — Результаты исследований качества переходных процессов изменения угловой скорости приводной звезды

Интервал времени 0 – 2 секунды — разгон привода при номинальном моменте нагрузки до угловой скорости 0.22 рад/с, соответствующей скорости подачи комбайна 2 м/мин. Интервал 2 – 4 секунды — реакция на ступенчатое изменение задающего воздействия по угловой скорости с 0.22 до 0.44 рад/с, соответствующей скорости подачи комбайна 4 м/мин. Интервал 4 – 8 секунды — отработка системой полуторакратной ударной нагрузки. Интервал 8 – 10 секунды — реакция на ступенчатое уменьшение задающего воздействия по угловой скорости с 4.4 до 3.3 рад/с, соответствующей скорости подачи комбайна 3 м/мин.

Во всех приведенных режимах изменение угловой скорости привода представляет аperiodический процесс, что свидетельствует о вполне приемлемом качестве регулирования. В установившихся режимах отсутствуют автоколебания тока управления и, следовательно, вращающего момента на валу привода. Снижение угловой скорости при ударных нагрузках способствует предохранению тяговой цепи от разрывов.

Полученные результаты были подтверждены в процессе заводских испытаний приводов ВСПК на ОАО "Харьковский машиностроительный завод "Свет Шахтера". Структурная схема и ее оптимизированные параметры использованы при разработке аппаратуры автоматизации РЭТ в составе автоматизированного комплекса КД-А и принята к серийному производству на Макеевском заводе шахтной автоматики.

### Выводы

1. Разработана математическая модель вынесенного привода подачи с ЭМТ, выполнен структурный и параметрический синтез САУ привода ВСП, экспериментально и на модели исследованы динамические характеристики и качество переходных процессов автоматизированного привода подачи.

2. Выполнена аппаратная реализация структуры и параметров системы стабилизации скорости вынесенного привода подачи горной машины.

3. Результаты исследований использованы при разработке аппаратуры автоматизации РЭТ в составе автоматизированного комплекса КД - А.

### Список использованной литературы

1. Серов Л.А. Устройства управления и системы регулирования угледобывающих машин / Л.А. Серов. — М.: Недра, 1995. — 167 с.: ил.
2. Поцехаев В.В. Исследование динамики и выбор рациональных параметров вынесенного привода подачи очистных комбайнов: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. / Поцехаев В.В. — М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1986. — 14 с.
3. Дубинин С.В. Применение электромагнитных муфт скольжения в приводах горных машин / С.В. Дубинин, И.Т. Сидоренко // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. — 1988. — Вып. 52. — С. 62–65.

Надійшла до редакції:  
01.02.2012 р.

Рецензент:  
д-р техн. наук, проф. Ковальов Є.Б.

*S.V. Dubinin, V.V. Potsepaev. Automatic stabilization of the rate of feed rendered with an electromagnetic brake slip for mining machines. Devise a mathematical model of feed rendered with an electromagnetic brake slip, taking into account the static and dynamic characteristics of the drive the next generation. On the basis of carried out structural and parametric synthesis of the stabilization rate.*

**Keywords:** *electromagnetic brake slip, automatic control system, torque, mathematical model, the dynamic loads and differential equations.*

*С.В. Дубінін, В.В. Поцехаєв. Система автоматичної стабілізації швидкості винесеного приводу подачі з електромагнітним гальмом ковзання для гірничих машин. Розроблена математична модель винесеного приводу подачі з електромагнітним гальмом ковзання, враховує статичні та динамічні характеристики приводу нового покоління. На її основі виконаний структурний і параметричний синтез системи стабілізації швидкості.*

**Ключові слова:** *електромагнітне гальмо ковзання, автоматична система стабілізації швидкості, перехідні процеси, математична модель, динамічні навантаження, диференціальні рівняння.*

© Дубинин С.В., Поцехаев В.В., 2012