

УДК 622.233.6.004.13.001.5

**АДАПТИВНЫЕ БУРОВЫЕ АГРЕГАТЫ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ.
Часть 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА
В ИДЕНТИФИКАЦИОННОМ И РАБОЧЕМ РЕЖИМАХ
ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНО-ПОДАЮЩИХ СИСТЕМ**

А.Я. Пономарев

Разработана самоорганизующаяся (с переменной структурой) и самообучающаяся информационно-поисковая система (ИПС) с ассоциативно идентифицируемой 1-й базой данных и щадящими режимными параметрами этапа определения начала объемного разрушения, связанного с физико-механическими свойствами разбуриваемых пород и 2-й базой данных режимных параметров рабочего этапа разрушения пород и грунтов согласно заданным критериям качества.

Ключевые слова: адаптивный электромеханический привод; привод с обратной информационной связью; частотное управление асинхронным двигателем; электромеханический дифференциал.

**ADAPTIVE CHISEL UNITS WITH ELECTROMECHANICAL DRIVE.
Part 5. LAWS OF ELECTROMECHANICAL DIFFERENTIAL IN IDENTIFICATION
AND OPERATING CONDITIONS FOR ROTATION SUBMITTING SYSTEMS**

A. Ya. Ponomarev

The article deals with the developed self-organizing (with variable structure) and self-trained information retrieval system with associative identified first database and gentle operating parameters of a definition stage of the beginning of bulk failure related to physical and mechanical properties of block-holes and second database operating parameters of rock destruction operating stage in accordance with a set of quality criteria.

Key words: adaptive electromechanical drive; inversedata communication drive; frequency controlling of the asynchronous motor; electromechanical differential.

Создание буровых машин, способных решать не только технологические (бурение скважины, отбор керна, образование выработки и др.), но и исследовательские задачи, связанные с определением свойств пород и грунтов при бурении и их взаимным расположением (перемежаемостью и стратификацией), изучение режимов работы буровых автоматов и их основных узлов в процессе эксплуатации, изучение внедрения бурового или грунтозаборного инструмента, его износ, о физико-механических свойствах и стратификации которых имеется неполная информация, приобретает важное значение для изучения строения и вещественного состава поверхностных слоев дна морей и океанов, кратеров вулканов в труднодоступных районах различных планет солнечной системы. В этом плане весьма существенным становится вопрос создания самоорганизующихся (с переменной структурой) и самообучающихся информационно-поисковых вращательно-подающих систем (ВПС) со своей ассоциативно идентифицируемой базой данных этапа определения начала объемного разрушения, связанного с физико-механическими свойствами разбуриваемых пород и базой данных режимных параметров рабочего цикла разрушения пород и грунтов согласно заданным критериям качества.

Основой для создания адаптивных буровых агрегатов-роботов с элементами интеллекта может служить серийно выпускаемая элементная база, включающая в себя асинхронные двигатели, блоки управления двигателями, цифровые микропроцессоры и т. д. В качестве двигателей приводов в настоящее время наиболее перспективным следует считать асинхронный короткозамкнутый двигатель переменного тока, регулируемый по частоте и напряжению.

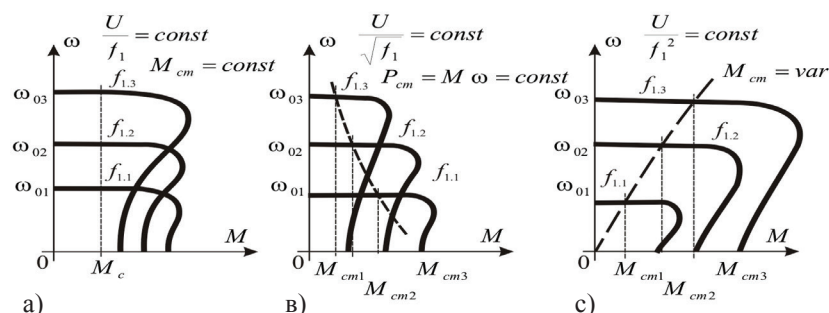


Рисунок 1 – Синтезированные электрохимические характеристики частотно-управляемого асинхронного двигателя с коротко замкнутым ротором: U – напряжение питания частотного преобразователя; f_n – частота сети частотного преобразователя; M_{cm} – крутящий момент электродвигателя; P_{cm} – усилие подачи привода

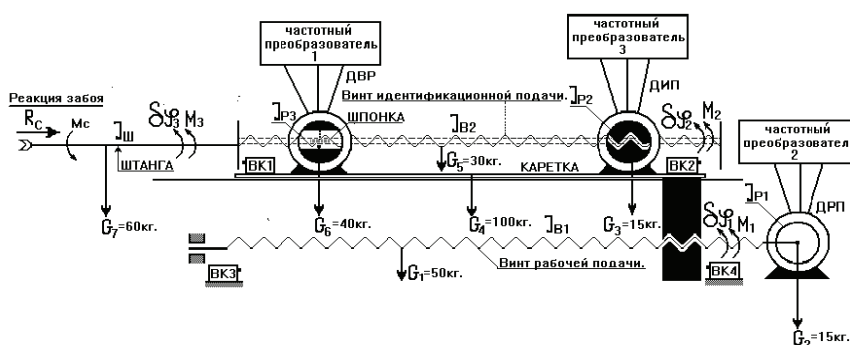


Рисунок 2 – Электрохимическая схема адаптивного привода

Электрохимические характеристики таких двигателей, управляемых тиристорным частотным блоком, показаны на рисунке 1.

Выпускаемые промышленностью, в частности японской компанией “Тошиба”, тиристорные цифровые блоки управления асинхронными двигателями рассчитаны для мощностей до 8 кВт, что по мощности, крутящему моменту и частотам вращения с запасом разрешает создание адаптивных систем с элементами интеллекта (рисунок 2). В свою очередь, номинальные значения напряжений и токов в цепях управления позволяют применять стандартную элементную базу цифровых микровычислительных систем типа “Fattek”, Компания “Toshiba”, Япония; PIC16F, Atmel, Atmega, Компания AVR, США и т. д.

Большая жесткость семейства естественных характеристик частотно-регулируемого асинхронного привода по сравнению с постоянным и пневматическим двигателями позволяет получить больший КПД регулируемого привода в широком диапазоне.

При высоких частотах питания асинхронного привода (до 400 Гц), при той же самой мощности можно использовать двигатели меньших габаритов, что весьма существенно при заданных конструктивных ограничениях.

Приемлемость подобного привода для грунтопроходческих машин, предназначенных для бестраншейной прокладки коммуникаций и работающих в конструктивно стесненных условиях, очевидна. Кроме того, применение редукторов с большим передаточным отношением (планетарных или волновых) при повышенной частоте питающей сети допускает возможность уменьшения габаритных размеров привода при той же мощности и силовых характеристиках и делает его пригодным для алмазного и шарошечного бурения.

Создание буровых автоматов-роботов требует разработки научно-методических основ и практических методов синтеза параметров приводов буровых машин, принципов рационального их согласования с условиями бурения и управления, обеспечивающих оптимизацию режима функционирования. В настоящее время наиболее перспективным следует считать регулируемый тиристорный электропривод переменного

тока. Одним из наиболее простых, но эффективных по применению к данным схемам привода может быть использование асинхронных двигателей.

Идентификационный привод подачи. Для стабилизации нагрузки в режиме идентификации физико-механических свойств разрушаемых пород и принудительной подачи, при работе привода подачи и привода вращения на общий вал, обмотки статора асинхронного короткозамкнутого двигателя, как привода гайки подачи, встроенной в его ротор, и статора асинхронного короткозамкнутого двигателя вращателя рабочего инструмента со встроенной в его ротор шлицевой втулкой включены пофазно – последовательно. Подобная схема соединения асинхронных двигателей называется электрическим дифференциалом (рисунок 3). Причем при этом существенным является тормозной момент в гайке, образованный сопротивлением трения – качения ее по ребордам винта. При этом не учитывается и считается не существенным параметр трения – скольжения идентификационного винта в шлицевой втулке.

Рабочий привод подачи. В рабочем режиме автономной подачи и поиска оптимальных режимных параметров по заранее заданным критериям качества для стабилизации найденной оптимальной нагрузки также учитывается тормозной момент в гайке, образованный сопротивлением трения – качения ее по ребордам рабочего винта. При этом не учитывается и считается не существенным параметр трения – скольжения рабочего стола (каретки) по направляющим бурового станка. После найденных оптимальных технологических параметров разрушения данной породы и определенной нагрузки привод вращения включается с помощью электрического дифференциала с рабочим приводом подачи в режим стабилизации рабочей нагрузки.

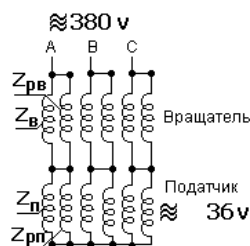
На время передачи начальных исходных данных для поиска оптимальных режимных параметров рабочего привода стабилизатор идентификационного привода подачи, выполненного также в виде электрического дифференциала, продолжает работать в режиме стабилизации определенной начальной нагрузки. После найденных начальных параметров в щадящем режиме идентификации физико-механических свойств разрушаемых пород и передачи их рабочему приводу подачи электрический дифференциал идентификационного привода подачи отключается и включается рабочий привод подачи при заданных начальных параметрах от идентификационного привода в поисковый режим оптимальных параметров для данной разрушаемой породы согласно заданным критериям качества. При этом идентификационный привод подачи отключается. После найденных оптимальных режимных параметров рабочего привода подачи он включается электрическим дифференциалом с приводом вращения для стабилизации найденной оптимальной нагрузки согласно заданным критериям качества. Ее особенностью является то, что увеличение нагрузки на одном из двигателей приводит к падению реактивного сопротивления на его обмотках и, следовательно, к падению напряжения на них. Поскольку два двигателя включены последовательно и суммарное напряжение на их обмотках должно быть равно напряжению сети, происходит перераспределение напряжений, т. е. в данном случае увеличение напряжения на обмотках второго двигателя. Следствием этого является уменьшение его скольжения, т. е. увеличение скорости вращения ротора.

Исходя из нормальной схемы замещения асинхронных двигателей для случая [1] пофазно-последовательного включения их обмоток, можно записать следующие уравнения:

$$\dot{U}_n = \dot{I} \cdot \left(\frac{Z_n \cdot Z_{pn}}{Z_n + Z_{pn}} \right); \tag{1}$$

$$\dot{U}_s = \dot{I} \cdot \left(\frac{Z_b \cdot Z_{pe}}{Z_b + Z_{pe}} \right); \tag{2}$$

$$\dot{U}_i + \dot{U}_a = \dot{U}_c, \tag{3}$$



где Z_n – комплексное сопротивление обмотки статора двигателя подачи; Z_b – комплексное сопротивление обмотки статора двигателя вращателя; Z_{or} – комплексное сопротивление обмотки ротора двигателя вращателя; Z_{oa} – комплексное сопротивление обмотки ротора двигателя подачи; \dot{U}_a, \dot{U}_i – напряжение, приложенное к статорной обмотке, соответственно двигателя подачи и вращения; \dot{U}_c – напряжение сети; I – ток одной фазы статорной обмотки.

Комплексное сопротивление обмотки статора двигателя подачи

$$z_n = r_n + jx_n; \tag{4}$$

Рисунок 3 – Электрический дифференциал ВПС

где r_n – активное сопротивление статорной обмотки двигателя подачи; x_n – реактивное сопротивление статорной обмотки двигателя подачи.

Комплексное сопротивление обмотки статора двигателя вращателя

$$z_{\sigma} = r_{\sigma} + jx_{\sigma}; \quad (5)$$

где r_{σ} – активное сопротивление статорной обмотки двигателя вращателя; x_{σ} – реактивное сопротивление статорной обмотки двигателя вращателя;

$$z_{pn} = \frac{r_{pn}}{S_n} + jx_{pn}; \quad (6)$$

где $r_{\sigma r}$ – активное сопротивление роторной обмотки двигателя подачи; $\delta_{\sigma r}$ – реактивное сопротивление роторной обмотки двигателя подачи; s_r – коэффициент скольжения ротора двигателя подачи относительно вращающегося поля статора;

$$z_{p\sigma} = \frac{r_{p\sigma}}{S_B} + jx_{p\sigma}; \quad (7)$$

где $r_{\sigma a}$ – активное сопротивление роторной обмотки двигателя вращателя; $\delta_{\sigma a}$ – реактивное сопротивление роторной обмотки двигателя вращателя; s_a – коэффициент скольжения ротора двигателя вращателя относительно вращающегося поля статора.

Зная распределение напряжений между обмотками статоров, можно записать уравнения электромагнитных моментов двигателей цепи подачи и вращения:

$$\dot{I}_i = \dot{I}(s_i) \cdot \varphi_i^2; \quad (8)$$

$$M_{\sigma} = M(s_{\sigma}) \cdot \varphi_{\sigma}^2. \quad (9)$$

Получим пять уравнений, связывающих между собой электромагнитные параметры двигателей. Для решения их необходимо еще уравнение, устанавливающее механическую связь между двигателями вращения и подачи:

$$R_p = k_c \sigma_c a \sqrt{sF}, \quad [2] \quad (10)$$

где k_c, a – постоянные для конкретных условий коэффициенты берутся из таблиц; σ_c – временное сопротивление горной породы сжатию, $\text{e}\ddot{a}/\ddot{i}^2$; s – подача резца, мм/об.

Крутящий момент на резце

$$M_{\delta} = \sigma_a [\mu_c a \sqrt{sF} y_m + k_{c\sigma} s(r - r_2) \cdot k_y y_i], \quad (11)$$

где y_m, y_i – плечи моментов сил, м; $\mu_c, k_{c\sigma}, k_y$ – коэффициенты берутся из таблиц; r, r_2 – постоянные геометрические параметры резцов.

Обозначим постоянные для заданных условий выражение:

$$k_c \sigma_c a \sqrt{sF} = D; \quad (12)$$

$$\sigma_b \mu_c a F = E; \quad (13)$$

$$\sigma_b k_{c\sigma} (r - r_2) k_y y_i = G. \quad (14)$$

Тогда

$$R_p = D\sqrt{s}; M_p = E\sqrt{s + G_s}. \quad (15)$$

Очевидно, что вращательный момент, приложенный к буровому шпинделю,

$$M_{\text{ш}} = M_{\text{Т.Г.}} + M_p. \quad (16)$$

Тормозной момент в гайке

$$M_{\text{Т.Г.}} = \frac{d_{cp}}{2} R_p [\text{tg}(\alpha + \rho)], \quad (17)$$

где α, ρ – соответственно угол подъема резьбы и угол трения винтовой пары; d_{cp} – средний диаметр диаметра винта.

Из уравнений (16)–(17) следует:

$$M_{\text{ш}} = Ds^{1/2} \frac{d_{\text{ср}}}{2} [\text{tg}(\alpha + \rho)] + Es^{1/2} + Gs. \quad (18)$$

Обозначим

$$\frac{d_{\text{ср}}}{2} [\text{tg}(\alpha + \rho)] = K, \quad (19)$$

$$M_{\text{ш}} = KD + E + Gs^{1/2}. \quad (20)$$

После преобразований

$$M_{\text{ш}} = -\frac{M_{\text{П.ПР.}}}{KD} (KD + E + G \frac{-M_{\text{П.ПР.}}}{\text{ЛВ}}), \quad (21)$$

где $M_{\text{П.ПР.}}$ – момент двигателя подачи, приведенный к гайке.

Моменты на главном электродвигателе (вращателе) и двигателе подачи

$$M_{\text{В}} = \frac{M_{\text{ш}}}{\eta_{\text{В}}}; \quad (22)$$

$$M_{\text{П.}} = \frac{M_{\text{П.ПР.}}}{\eta_{\text{П.}}}; \quad (23)$$

где $\eta_{\text{в.}}, \eta_{\text{п.}}$ – КПД двигателя вращателя (главного) и соответственно двигателя подачи.

Тогда уравнение, связывающее моменты двигателей вращения и подачи примет вид

$$M_{\text{В.}} \eta_{\text{В.}} = \frac{-M_{\text{П.}} \eta_{\text{П.}}}{KD} (KD + EG \frac{-M_{\text{П.}} \eta_{\text{П.}}}{KD}). \quad (24)$$

Из вышеизложенного следует, что анализ известных научных работ, посвященных вращательному бурению шпуров, и выполненные обобщения позволяют установить, что вращательное бурение – весьма сложный процесс, и его количественная оценка может быть выполнена на основании статистической обработки известных экспериментальных данных.

Литература

1. *Талько А.И.* Применение электрического дифференциала для автоматизации горных электросверл / А.И. Талько, В.В. Габов, И.И. Марголин // Известия вузов. Ленингр. горн. ин-т им. Г.В. Плеханова. Горный журнал. 1979. № 1.
2. *Крапивин М.Г.* Расчет усилий на резцах при сверлении шпуров / М.Г. Крапивин // Тр. Новочерк. политехн. ин-та, 1968. Т. 175.