

УДК622.232.72

В.П. Кондрахин, д-р техн. наук, проф., Донецкий национальный технический университет, **В.В. Косарев**, канд. техн. наук, директор, **Н.И. Стадник**, д-р техн. наук, первый зам. директора, Донгипроуглемаш

УСТОЙЧИВЫЙ МОМЕНТ И ДИАПАЗОН ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

На основе экспериментальных данных предложена формула для определения устойчивого момента двухдвигательного привода механизмов перемещения очистных комбайнов. Разработана методика определения диапазона частотного регулирования электропривода.

очистной комбайн, механизм перемещения, частотное регулирование, устойчивый момент, диапазон регулирования

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Нагрузки в частотно-регулируемом приводе двухдвигательных механизмов перемещения очистного комбайна с жестким тяговым органом носят динамический характер, обусловленный, во-первых, неравномерностью сил сопротивления движения машины (силы на исполнительных органах и силы трения в опорах), и, во-вторых, несовершенством зацепления звезд с рейкой. В соответствии с этим можно условно выделить две составляющие нагрузок в приводах. Колебания, соответствующие первой составляющей, происходят в приводах обеих звезд синфазно. Для другой составляющей характерно наличие как синфазных, так и несинфазных колебаний, период которых равен продолжительности зацепления одного зуба звезды. Амплитуды этих колебаний зависят от величины сдвига фазы между началом зацепления зубьев приводных звезд с цевочной рейкой, средней скорости перемещения и номинального скольжения электродвигателей. Для второй составляющей характерны также низкочастотные колебания, период которых равен времени перемещения комбайна на расстояние, равное длине секции рейки [1,2].

Для приводов, имеющих такой динамический характер нагрузки, важную роль при выборе параметров привода, исходных данных для расчета на прочность и режима работы играет величина устойчивого момента. Под устойчивым моментом понимается максимальное значение среднего уровня вращающего момента электродви-

гателя, при котором он при стационарных режимах нагружения может работать устойчиво, без опрокидываний.

Анализ исследований и публикаций. В работе [3] предложены выражения для определения устойчивого момента привода исполнительных органов очистного комбайна с учетом случайного характера действующих нагрузок. В работе [4] получены аналогичные выражения для двухдвигательного привода исполнительных органов очистного комбайна, учитывающие разброс механических характеристик двигателей и его динамические свойства.

Однако для оценки устойчивого момента двухдвигательного частотно-регулируемого привода механизма перемещения полученные результаты могут быть использованы только после проведения дополнительных исследований. Это связано с особенностями формирования колебаний нагрузки в механизмах перемещения и их низкочастотным характером. Кроме того, для привода механизма перемещения важную роль играет вопрос диапазона частотного регулирования скорости, который непосредственно связан с величиной устойчивого момента привода.

Постановка задачи. В работе поставлена и решена задача количественной оценки устойчивого момента и диапазона частотного регулирования двухдвигательных приводов механизма перемещения очистного комбайна с целью обоснованного выбора их параметров.

Изложение материала и результаты. В качестве объектов исследований приняты механизмы перемещения очистных комбайнов для выемки тонких пластов УКД300 и УКД400. Для таких машин вследствие жестких габаритных ограничений вопросы выбора рациональных параметров привода особенно важны. Основные параметры механизмов перемещения комбайнов УКД300 и УКД400 приведены в табл. 1.

Результаты исследований нагрузок в двухдвигательных приводах подачи очистных комбайнов УКД300 и УКД400 показывают, что нагрузки (токи двигателей и моменты) имеют случайные колебательные составляющие. Верхняя граница частоты колебаний увеличивается пропорционально средней скорости перемещения и не превышает 1,6 Гц.

На рисунке 1 представлена осциллограмма крутящих моментов левого и правого электродвигателей привода подачи комбайна УКД300, полученная в ходе стендовых испытаний на полноразмерном стенде ЗАО "Горловский машиностроитель".

Таблица 1 – Параметры механизмов перемещения

Наименование параметров	УКД300	УКД400
Движитель	трехэлементный	двухэлементный
Расположение рейки	с завальной стороны конвейера	с забойной стороны конвейера
Расстояние между осями звезд, мм	2160	882
Шаг зацепления «звезда-рейка», мм	100	126
Тип электродвигателя	ЭКВ4-30-6-02	ЭКВ4-30-6-02
Мощность привода подачи, кВт	2х30	2х30
Передаточное отношение редуктора	104,9	106,1
Число лучей приводной звезды	9	9
Максимальная рабочая скорость, м/мин	8,0	8,0
Максимальная маневровая скорость, м/мин	12	12
Максимальное тяговое усилие, кН	300	300

Необходимо отметить, что в условиях стенда силы резания и подачи на исполнительных органах имитировались примерно постоянными, статическими сопротивлениями.

Как видно на рис.1, в приводах механизма перемещения комбайна УКД300 формируются существенные несинфазные колебания нагрузки. Как отмечалось выше, период высокочастотных составляющих равен продолжительности зацепления зуба звезды с рейкой, а низкочастотной составляющей – времени перемещения комбайном

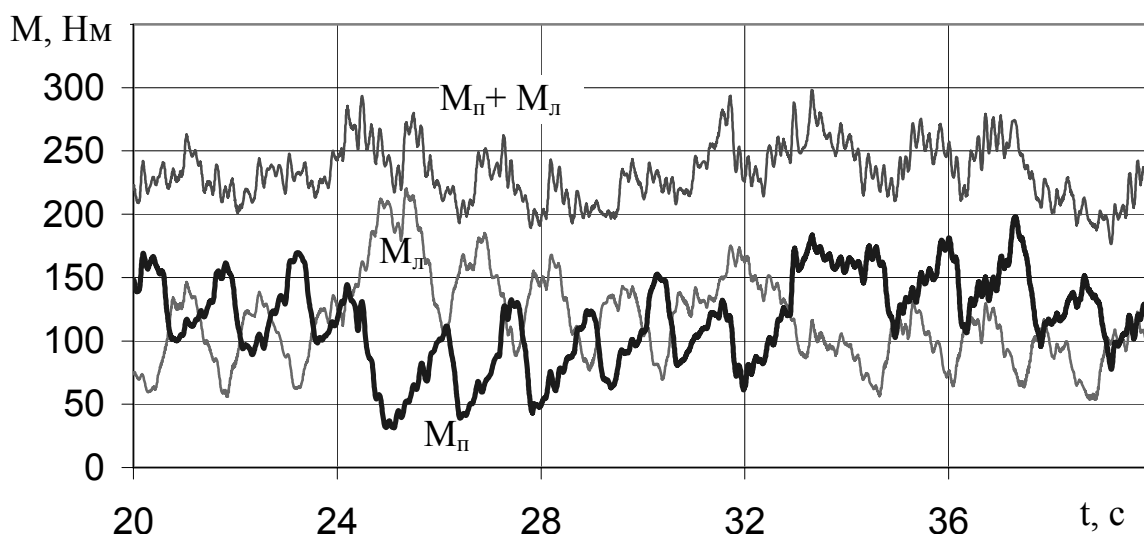


Рисунок 1. – Осциллограмма крутящих моментов левого $M_л$ и правого $M_п$ электродвигателей и суммарного момента привода подачи комбайна УКД300 при движении со скоростью 4,2 м/мин

на расстояние, равное длине 1 рейки (1 м или 0,5 м). Так как расстояние между осями звезд комбайна УКД300 достаточно большое (2,160 м), и между секциями рейки имеются зазоры, то зубья звезд входят в зацепление с рейкой не синхронно, что объясняет наличие несинфазных колебаний нагрузки с периодом, равным продолжительности зацепления зуба (примерно 1,5 с на рис.1).

На рисунке 2 представлена осциллограмма токов левого и правого электродвигателей привода подачи комбайна УКД400, полученная в ходе измерений, проведенных в АП «Шахта «Красный партизан» ГП «Свердловантрацит».

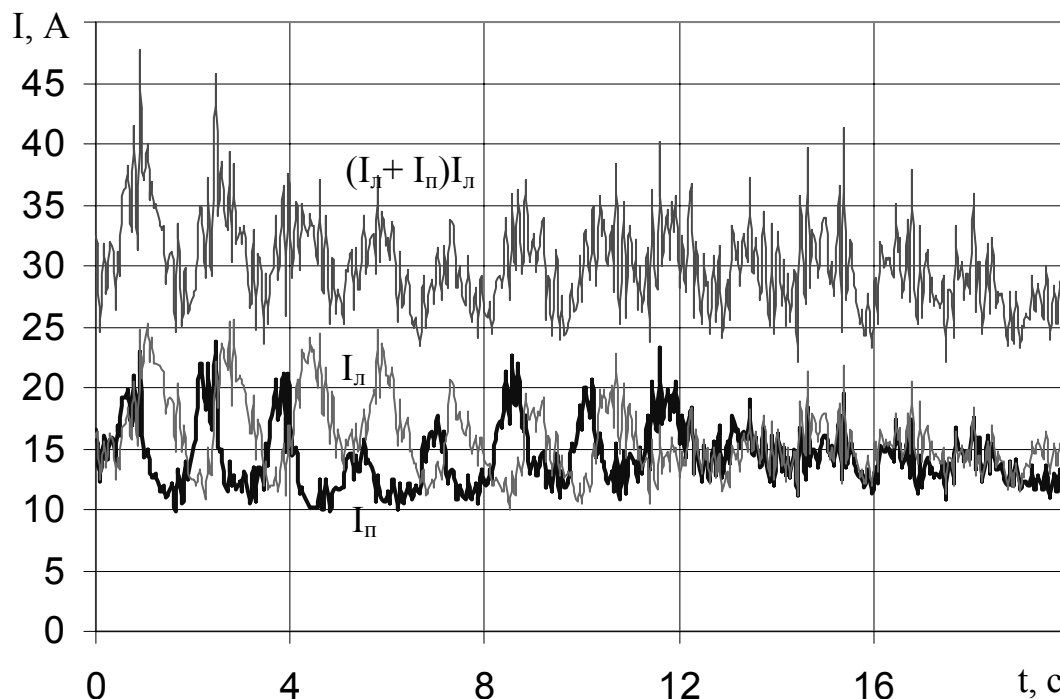


Рисунок 2. – Осциллограмма токов левого и правого электродвигателей и суммарного тока привода подачи комбайна УКД400 при выемке со скоростью $V_{\Pi} = 5$ м/мин

Осциллограмма записана при выемке комбайном угля со скоростью перемещения 5 м/мин при угле падения пласта 0° . Здесь же приведена кривая суммарного тока обоих двигателей.

Поскольку оба привода механизма перемещения работают на общий тяговый орган, то опрокидывание (остановка под нагрузкой) электродвигателей будет происходить совместно, несмотря на различие мгновенных значений моментов обоих двигателей в установившемся режиме. На рис. 3 приведен фрагмент осциллограммы токов при опрокидывании электродвигателей механизма перемещения комбайна УКД400.

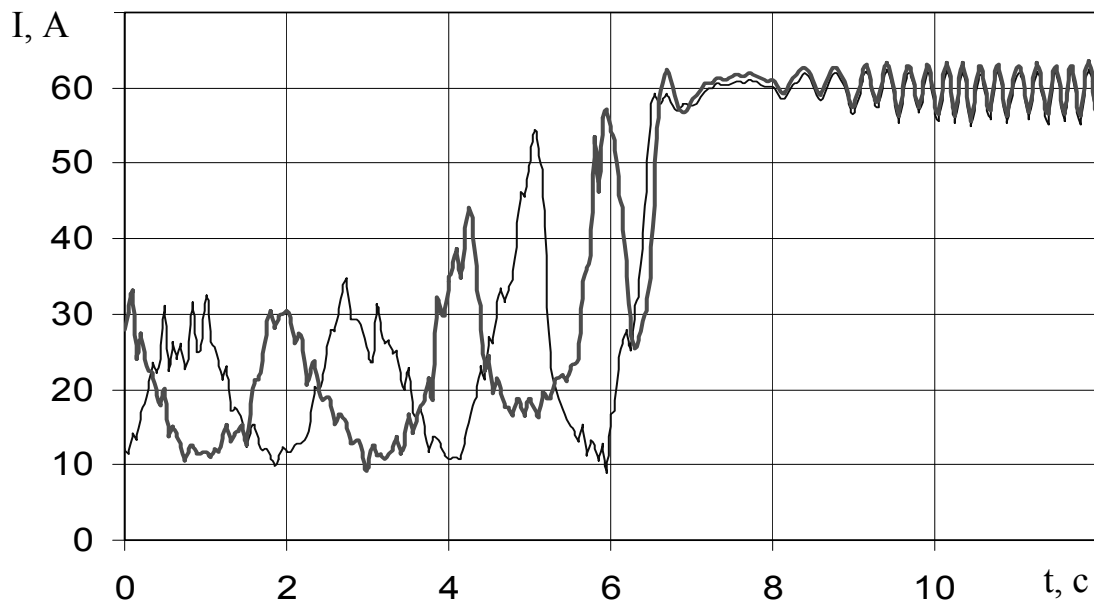


Рисунок 3. - Осциллограмма токов при опрокидывании электродвигателей механизма перемещения комбайна УКД400

Как видно из рис. 3, колебания токов электродвигателей происходят в противофазе вокруг среднего уровня, близкого к номинальному току 24,5 А до тех пор, пока их значения не приближаются к критическому значению. После этого рост токов обоих двигателей происходит практически синхронно. Отсюда следует, что для оценки устойчивого момента двухдвигательного привода механизма перемещения следует учитывать неравномерность суммарного момента нагрузки.

Из рисунков 1 и 2 следует, что процесс изменения суммарной нагрузки привода перемещения очистного комбайна может рассматриваться как случайный. В работе [4] предлагается для оценки устойчивого момента в качестве параметра, характеризующего разброс значений случайного процесса относительно среднего, принимать коэффициент вариации нагрузки, наиболее достоверные оценки которого можно получить путем статистической обработки экспериментальных данных.

Для статистической обработки были приняты участки осциллограмм с примерно постоянным уровнем средней нагрузки и постоянной скоростью перемещения. Наименьшая длина реализации принималась такой, чтобы путь, пройденный комбайном, примерно соответствовал длине одного рештака конвейера (1,5 м). Выбранная длина реализации случайного процесса позволяет учесть особенности фор-

мирования нагрузок с точки зрения их амплитуд и коэффициента вариации.

Результаты статистической обработки результатов измерения нагрузки приведены в таблицах 2 и 3. В таблицах приняты обозначения МО - математическое ожидание, КВ - коэффициент вариации. Ток и момент в рабочем диапазоне токов от 15 до 40 А (при номинальном токе 24,5 А) в первом приближении связаны прямо пропорциональной зависимостью, коэффициент пропорциональности для электродвигателя ЭКВ4-30-6-02 примерно равен 12 Нм/А. В скобках даны расчетные значения тока (табл. 2) и момента двигателя (табл. 3).

Сравнение данных таблиц показывает, что КВ нагрузки каждого из двигателей механизма перемещения у комбайна УКД300 выше в 1,08...2,07 раза, чем у комбайна УКД400.

Особенно значительное снижение КВ нагрузки комбайна УКД400 наблюдается на наиболее типичных скоростях выемки 4...5 м/мин (1,7...2,07 раз). Следует подчеркнуть, что фактический эффект снижения КВ на комбайне УКД400 выше, чем указанный, так как при замерах нагрузок комбайна УКД300 отсутствовали динамические составляющие сил резания и погрузки.

Это свидетельствует об эффективности технических решений, принятых с целью снижения несинфазных колебаний нагрузки механизма перемещения комбайна УКД400 (межцентровое расстояние между звездами принято кратным шагу зацепления и минимально возможным, тяговый орган расположен с забойной стороны и др.).

В то же время коэффициенты вариации суммарных нагрузок механизма перемещения у комбайна УКД400, как правило, выше в 1,1...1,3 раза, что объясняется неравномерностью нагрузки, обусловленной силами подачи на исполнительных органах при резании и погрузке угля. Как отмечалось выше, при стендовых исследованиях комбайна УКД300 эта неравномерность отсутствовала.

Имеющиеся экспериментальные данные не позволяют достоверно установить зависимость коэффициента вариации суммарной нагрузки привода перемещения очистного комбайна v_c от средней скорости перемещения (от частоты питания). Поэтому для оценки устойчивого момента с некоторым запасом можно принять максимальное значение КВ, которое для комбайна УКД400 составляет $v_c=0,13$. Эта величина соответствует представительным условиям работы комбайна и может быть принята в качестве базовой при расчете устойчивого момента привода механизма перемещения.

Таблица 2. - Статистические характеристики моментов и токов двигателей механизма перемещения комбайна УКД300

Средняя скорость перемещения, м/мин (частота)	Наименование характеристик	Момент правого двигателя, Нм (ток, А)	Момент левого двигателя, Нм (ток, А)	Суммарный момент, Нм (ток, А)
1,7 (10 Гц)	МО	177 (14,7)	170 (14,2)	347 (28,9)
	КВ	0,200	0,167	0,101
4,2 (25 Гц)	МО	117 (9,8)	114 (9,5)	231 (19,3)
	КВ	0,356	0,335	0,102
8,35 (50 Гц)	МО	161 (13,4)	158 (13,2)	319 (26,6)
	КВ	0,258	0,248	0,122

Таблица 3 - Статистические характеристики токов и моментов двигателей механизма перемещения комбайна УКД400.

Средняя скорость перемещения, м/мин (частота)	Наименование характеристик	Ток правого двигателя, А (момент, Нм)	Ток левого двигателя, А (момент, Нм)	Суммарный ток, А (момент, Нм)
В ы е м к а				
2,3 (10,9 Гц)	МО	16,3 (196)	17,8 (214)	34,1 (410)
	КВ	0,171	0,158	0,129
4,2 (20 Гц)	МО	14,0 (168)	14,8 (177)	28,8 (345)
	КВ	0,193	0,198	0,116
5 (23,8 Гц)	МО	12,8 (154)	13,8 (165)	26,6 (319)
	КВ	0,172	0,168	0,116
5 (23,8 Гц)	МО	14,3 (172)	15,7 (188)	30,0 (360)
	КВ	0,190	0,200	0,130
З а ч и с т к а				
4,7 (22,3 Гц)	МО	12,7 (152)	13,9 (167)	26,6 (319)
	КВ	0,253	0,227	0,110
7,6 (36,2 Гц)	МО	11,0 (132)	12,0 (144)	23,0 (276)
	КВ	0,233	0,235	0,108
10 (47,6 Гц)	МО	12,6 (151)	13,2 (158)	25,8 (309)
	КВ	0,226	0,219	0,122

При определении устойчивого момента приняты следующие допущения:

- вследствие низкочастотного (до 1,6 Гц) характера колебаний динамическими свойствами электродвигателя можно пренебречь, поскольку собственная частота асинхронного электродвигателя ЭКВ4-30-6-02 равна примерно 11 Гц и практически не зависит от частоты питающей сети;

- не учитывается возможный разброс номинальных параметров двигателей, который, как известно, при нагреве электродвигателей уменьшается;

- с достаточно высокой вероятностью значения случайной величины суммарной нагрузки привода не превышают $M_c(1+3v_c)$, где M_c – оценка математического ожидания (средний уровень).

Тогда устойчивый момент двухдвигательного привода может рассчитываться по формуле

$$M_y(\alpha_f) = \frac{M_k(\alpha_f)}{1+3v_c} \quad (1)$$

где $M_k(\alpha_f) = 2 \cdot M_{к\delta}(\alpha_f)$ – критический момент двухдвигательного привода;

$M_{к\delta}(\alpha_f)$ – критический момент одного электродвигателя;

$\alpha_f = f_1 / f_{1ном}$ – относительная частота напряжения (тока) статора;

f_1 – частота напряжения (тока) статора;

$f_{1ном} = 50$ Гц.

В работе [5] предлагается формула для определения значений критического момента асинхронного электродвигателя на любой искусственной характеристике:

$$M_{к\delta}(\alpha_f) = \frac{m_1 \cdot U_{1нф}^2 \cdot \gamma^2}{2 \cdot \omega_{1ном}} \cdot \frac{1}{r_1 \alpha_f + \sqrt{(b^2 + c^2 \alpha_f^2)(d^2 + e^2 \alpha_f^2)}} \quad (2)$$

где $U_{1нф}$ – фактическое значение напряжения обмотки двигателя при $f_{1ном} = 50$ Гц;

$m_1=3$ – число фаз статора;

$\omega_{1ном}$ – номинальное значение угловой частоты вращения;

$\gamma = U_1 / U_{1нф}$ – относительное напряжение на статоре;

U_1 – напряжение на статоре;

$\tau_1 = x_1 / x_0$ – коэффициент рассеяния статора;

$\tau_2 = x_2 / x_0$ – коэффициент рассеяния ротора;

$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \tau_2$ – общий коэффициент рассеяния;

$b = r_1(1 + \tau_2)$; $c = x_0 \tau$; $d = r_1 / x_0$; $e = (1 + \tau_1)$ – коэффициенты, зависящие от параметров схемы замещения;

r_1, x_1 – активное и индуктивное сопротивление статора;

x_2 – приведенное индуктивное сопротивление ротора;

x_0 – реактивное сопротивление контура намагничивания.

Для электродвигателя ЭКВ4-30-6-02:

$U_{1нф} = 548 \text{ В}$, $\omega_{1ном} = 103 \text{ с}^{-1}$, $r_1 = 1,09 \text{ Ом}$, $x_1 = 2,35 \text{ Ом}$, $r_2 = 0,724 \text{ Ом}$,
 $x_2 = 2,50 \text{ Ом}$, $x_0 = 53 \text{ Ом}$.

В механизмах перемещения очистных комбайнов обычно принимается разомкнутая система управления по закону частотного регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ (или $\gamma = \alpha_f$) при регулировании вниз от номинальной частоты ($\alpha_f < 1$). При $\alpha_f > 1$ принимается закон регулирования $U_1 = \text{const}$. Эффективное применение более сложных замкнутых систем управления (как скалярных, так и векторных) существенно затрудняется тем, что привод механизма перемещения является двухдвигательным, причем питание обоих двигателей осуществляется от одного преобразователя частоты. Такая структура привода обусловлена требованиями безопасности и жесткими ограничениями по его габаритным размерам, особенно по высоте.

Нагрузка и частота вращения двигателей в произвольный момент времени могут существенно различаться между собой (см., например, рис. 1, 2, 3), что делает неэффективным управление с обратной связью по току или частоте вращения одного из двигателей. Применение двух частотных преобразователей в случае их размещения на штреке требует наличия отдельного кабеля для каждого двигателя механизма перемещения, что вряд ли технически реализуемо. Установка двух бортовых преобразователей из-за жестких габаритных ограничений возможна, по-видимому, только на комбайнах, предназначенных для выемки пластов большой мощности. Поэтому в большинстве случаев для механизмов перемещения очистных комбайнов целесообразно использование разомкнутых систем частотного управления.

Для построения зависимости $M_{кд}(\alpha_f)$ для указанного выше двухзонного управления в выражении (2) следует принимать $\gamma = \alpha_f$ при $\alpha_f < 1$ и $\gamma = 1$ при $\alpha_f > 1$. На рис. 4 приведены графики зависимостей $M_k(\alpha_f)$ и $M_y(\alpha_f)$ для параметров привода с двумя электродвигателями ЭКВ4-30-6-02 при $v_c = 0,13$.

На рис. 4 значками \square показаны точки, полученные при экспериментальных исследованиях привода механизма перемещения комбайна УКД300 на нагрузочном стенде при стационарном нагружении. Эти точки хорошо соответствуют полученной расчетным путем кривой $M_k(\alpha_f)$, что подтверждает возможность использования выражения (2) для оценки критического момента электродвигателей механизма перемещения очистных комбайнов.

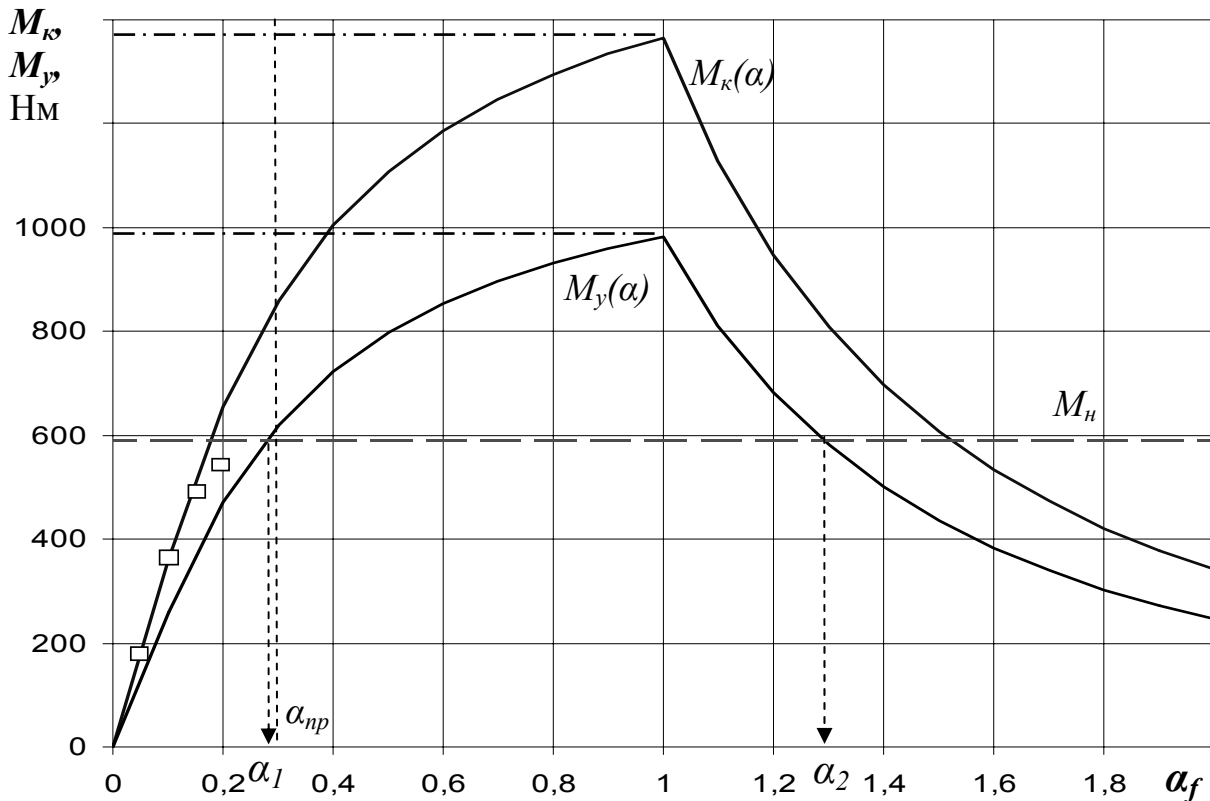


Рисунок 4. - Критический и устойчивый момент привода механизма перемещения с двумя электродвигателями ЭКВ4-30-6-02

На рис. 4 приведено значение номинального момента M_n двухдвигательного привода (пунктирная линия), который, как известно, определяется из условия допустимого нагрева двигателя в длительном режиме при номинальной частоте питания (т.е. $\alpha_f = 1$). При этом в первом приближении принято, что величина допустимого по нагреву момента в рассматриваемом диапазоне регулирования не зависит от частоты питания (или от α_f). Для двигателей с независимым (в данном случае водяным) охлаждением при регулировании вниз от номинальной частоты это допущение сомнений не вызывает. При регулировании вверх от номинальной частоты для проверки этого допущения целесообразно проведение дополнительных исследований.

Точки пересечения кривой $M_y(\alpha_f)$ с линией M_n определяют границы диапазона регулирования α_1 и α_2 , в котором устойчивый момент привода превышает его номинальный момент.

В рассматриваемом случае $\alpha_1=0,28$, $\alpha_2=1,28$, то есть номинальный момент двигателя может быть реализован при частотах питания от 14 до 64 Гц. Полученные граничные значения α_1 и α_2 должны соответствовать минимальной и максимальной рабочим скоростям ме-

ханизма перемещения $V_{p.min}$ и $V_{p.max}$, которые определяются исходя из технологических требований. Это обеспечивается выбором соответствующего значения передаточного отношения редуктора и двигателя механизма перемещения.

Полученные графики показывают, что при законе регулирования $\gamma = \alpha_f$ с уменьшением частоты величина критического момента уменьшается. Для его поддержания на постоянном уровне во всем диапазоне регулирования необходимо при малых частотах уменьшать напряжение в меньшей степени, чем снижается частота. В этом случае закон регулирования напряжения имеет вид [6]

$$\gamma = \sqrt{\frac{r_1 \alpha_f + \sqrt{(b^2 + c^2 \alpha_f^2)(d^2 + e^2 \alpha_f^2)}}{r_1 + \sqrt{(b^2 + c^2)(d^2 + e^2)}}}. \quad (3)$$

Графики зависимостей $\gamma = f(\alpha_f)$ для рассматриваемых законов регулирования представлены на рис. 5.

Для закона регулирования (3) в зоне $\alpha_f < 1$ графики зависимостей $M_x(\alpha_f)$ и $M_y(\alpha_f)$ имеют вид горизонтальных прямых (штрихпунктирные линии на рис. 4). При этом устойчивый момент превышает номинальный для всех $\alpha_f < 1$. Однако управление по этому закону связано с увеличением потока двигателя в точке максимума момента примерно обратно пропорционально квадратному корню абсолютного критического скольжения. Это приводит к насыщению стали двигателя в случае большого диапазона регулирования. Поэтому применение закона (3) ограничивается диапазоном регулирования частоты вниз от номинальной (3...7):1 [6].

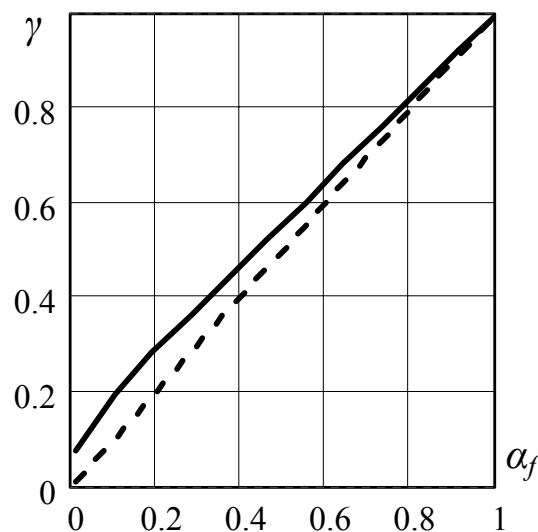


Рисунок 5. - Графики зависимостей $\gamma = f(\alpha_f)$
($\gamma = \alpha_f$ – пунктирная линия, формула (3) – сплошная линия)

В работе [28] показано, что достижению требуемой перегрузочной способности при законе регулирования (3) препятствует возрастание потока при сбросе нагрузки, связанный с этим рост тока статора (если машина была насыщена в зоне максимального момента) и ограничение тока статора (следовательно, потока при холостом ходе двигателя), налагаемое допустимым нагревом изоляции машины. Поскольку допустимый нагрев ограничивает возможность увеличения потока на холостом ходу, то тем самым в разомкнутой системе ограничивается поток в точке максимума момента, что приводит к снижению перегрузочной способности.

Точное определение предельного диапазона регулирования для постоянной нагрузки по условиям нагрева и обеспечения перегрузочной способности возможно только путем расчета потока и тока статора двигателя в функции частоты с учетом насыщения стали при управлении по закону (3) и сравнения с допустимым по нагреву током статора.

В [6] приведена формула (4) для ориентировочной оценки предельной относительной частоты α_{np} при регулировании по закону (3).

$$\alpha_{np} \approx 1,3 \frac{r_1}{x_1 + x_2} \quad (4)$$

Указанная формула выведена, исходя из того, что наибольшему допустимому потоку идеального холостого хода соответствует ток статора на холостом ходу, равный номинальному. В соответствии с (4) для электродвигателя ЭКВ4-30-6-02 $\alpha_{np} = 0,292$ (предельная частота $f_{np} = 14,6$ Гц). Таким образом, в рассматриваемом примере применение закона регулирования (3), несмотря на его кажущиеся преимущества, не позволит расширить диапазон регулирования скорости с сохранением требуемого номинального момента по сравнению с законом $U_1/f_1 = \text{const}$.

Приведенные выше расчеты не учитывают ряд факторов, которые могут оказывать определенное влияние на выбор закона частотного регулирования: несинусоидальность напряжения преобразователя, наличие явлений вытеснения тока в стержнях ротора и насыщения магнитопровода, ограничение диапазона регулирования статизмом, который может быть допущен при малой угловой скорости [5,6], особенности нагрева электродвигателя с водяным охлаждением при частотном управлении и др. Кроме того, оптимальный закон частот-

ного регулирования зависит от горно-технических условий эксплуатации конкретной машины рассматриваемого типа. Очевидно, что закон регулирования (в отличие от остальных параметров механизма перемещения) можно легко изменять в зависимости от особенностей условий эксплуатации. Поэтому окончательный вид закона регулирования следует отрабатывать на натуральных образцах механизмов перемещения на специальных нагрузочных стендах с учетом конкретных требований к тяговым усилиям и диапазону регулирования скорости, диктуемых условиями эксплуатации в конкретном очистном забое.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Для оценки устойчивого момента двухдвигательного частотно-регулируемого привода механизма перемещения очистного комбайна следует использовать значения коэффициента вариации суммарной нагрузки двух приводов 0,116...0,130. Величина устойчивого момента привода механизма перемещения зависит от частоты питания и вида закона регулирования.

Для двухдвигательных механизмов перемещения очистных комбайнов целесообразно использовать разомкнутые системы частотного управления. При использовании закона регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ граничные значения относительной частоты определяются исходя из равенства устойчивого момента привода его номинальному моменту.

Окончательный вид закона регулирования следует отрабатывать на натуральных образцах механизмов перемещения с использованием специальных нагрузочных стендов с учетом конкретных требований к тяговым усилиям и диапазону регулирования скорости, диктуемых условиями эксплуатации в конкретном очистном забое.

Список источников:

1. Косарев В.В. Комплексные экспериментальные исследования механизма перемещения очистного комбайна УКД300/ В.В.Косарев, Н.И.Стадник, А.В.Сергеев, В.П.Кондрахин, Н.М.Лысенко, А.В.Косарев // Горное оборудование и электромеханика.– 2007.- №3.– с.2-6.
2. Кондрахин В.П. Моделирование нагрузок в двухдвигательном механизме перемещения очистного комбайна с частотно-регулируемым приводом / В.П.Кондрахин, Н.М.Лысенко, А.В.Косарев, В.В.Косарев, Н.И.Стадник // Наукові праці ДонНТУ, Серія: "Гірничо-електромеханічна": Зб. наук. праць. Випуск 113, - Донецьк: ДВНЗ "ДонНТУ", 2006. с.139-145.
3. Стариков Б.Я. Асинхронный электропривод очистных комбайнов / Стариков Б.Я., Азарх В.Л., Рабинович З.М. М., Недра, 1981.-288 с.
4. Бойко Н.Г. Привод исполнительных органов очистных комбайнов / Донецк, ДонНТУ, 2005.- 139с.
5. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. М.: - Энергоиздат, 1981. – 576 с., ил.
6. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1974.- 328 с.

В.П.Кондрахін, В.В.Косарев, М.І.Стадник. Стійкий момент і діапазон частотного регулювання двохдвигунового приводу механізму переміщення очисного комбайну. На основі експериментальних даних запропонована формула для визначення стійкого моменту двохдвигунового приводу механізмів переміщення очисних комбайнів. Розроблено методичку визначення діапазону частотного регулювання електропривода механізму переміщення очисній комбайн, механізм переміщення, частотне регулювання, стійкий момент, діапазон регулювання

V.P.Kondrakhin, V.V.Kosarev, N.I.Stadnik. Steady moment and range of the frequency adjustment of the twomotive drive of cutter-loader moving mechanism. On the basis of experimental information a formula is offered for determination of steady moment of twomotive drive of cutter-loader moving mechanism. The method of determination of range of the frequency adjustment of moving mechanism is developed. cutter loader, moving mechanism, frequency adjustment, steady moment, adjustment range

Стаття надійшла до редколегії 10.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Г.Гуляев

© В.П.Кондрахин, В.В.Косарев, Н.И.Стадник, 2010