

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ И ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТОТНОГО ПРИВОДА

К. А. Хандакжи¹, С. Н. Радимов², А. В. Горячев³, Е. М. Кокошко⁴

¹Тафила технический университет,

²Одесский национальный политехнический университет,

³ООО Научно-производственное предприятие "Приводсервисплюс",

⁴Одесский национальный морской университет

Аннотация. На основе данных экспериментов получены простые аналитические зависимости, связывающие величину электромагнитной постоянной времени короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя с мощностью двигателя и числом полюсов обмотки статора. Проведено сопоставление процессов пуска частотного электропривода с предварительным намагничиванием двигателя и без предварительного намагничивания. Представлен процесс безударной выборки зазора в кинематической цепи механизма поворота портального крана.

Ключевые слова: подъемные краны, частотный привод, электромагнитная постоянная ротора, мощность, число полюсов, задержка изменения момента, выборка зазора.

Введение

Широко распространенный асинхронный электропривод подъемно-транспортных механизмов (ПТМ) совершенствовался на протяжении большей части 20-го столетия. Если не учитывать потери энергии, потребление реактивной мощности из сети, броски пусковых токов и моментов, релейно-контакторная (РК) система управления приводами ПТМ удовлетворяет большинство требований к функционированию конкретных механизмов, что объясняет ее широкое применение на кранах, выпускавшихся вплоть до 90-х годов 20 столетия.

Возможности частотного привода, позволяющие существенно снизить расход энергии в переходных режимах пуска и торможения а также при работе с пониженной скоростью, устранить броски пусковых токов и моментов, позволяющие отказаться от использования аппаратов, коммутирующих токи в цепях статора и ротора, обусловили не только однозначное применение частотного привода при производстве новых кранов, но и внедрение частотного привода в процессе модернизации ранее выпущенных кранов. Такой подход особенно актуален на предприятиях с непрерывным технологическим циклом, таких как металлургические предприятия, морские порты, на которых ПТМ работают в течение года не менее 3000 - 4000 часов.

Потенциал энергосбережения, который может быть получен при внедрении частотного

электропривода на механизмах основных типов кранов [1, 2, 3], эксплуатируемых в портах Украины, представлен в [4]. Переход от существующей РК системы управления на ранее выпущенных кранах к системе частотного управления осуществляется в процессе модернизации. При модернизации, исходя из состояния установленных асинхронных двигателей с фазным ротором, происходит их замена на двигатели с короткозамкнутым ротором, либо на установленных двигателях обмотка ротора замыкается накоротко, что превращает его в двигатель с короткозамкнутым ротором.

Параллельно с модернизацией ранее выпущенных кранов идет обновление парка кранов, произведенных рядом зарубежных – *Kone, Danie-li* и отечественных фирм, таких как Новокраматорский машиностроительный завод, Азовмаш и др., при котором краны выпускаются с частотным приводом всех механизмов. На кранах с частотным управлением наблюдается эффект замедленной реакции частотного привода в режиме пуска, вызывающий негативную реакцию у машинистов кранов, привыкших работать с системой РК управления. Асинхронный двигатель создает момент на валу после формирования магнитного поля ротора, скорость нарастания которого определяется величиной электромагнитной постоянной времени ротора, равной отношению результирующей индуктивности обмотки ротора к ее активному сопротивлению. При РК системе управления при пуске в цепь ротора вводятся ступени пускового резистора, величина которых примерно на порядок выше

© Хандакжи К. А., Радимов С. Н., Горячев А. В., Кокошко Е. М. 2017

собственного сопротивления обмотки ротора. Поэтому задержка с началом движения привода ничтожно мала. При частотном приводе задержка с началом движения, в зависимости от мощности двигателя и, как будет показано ниже, от числа полюсов обмотки, составляет от 1-2 сотых до 1 и более секунд.

1. Постановка задач исследования

Попытка аналитического определения фактических динамических параметров асинхронных двигателей, в том числе величины электромагнитной постоянной времени ротора и ее зависимости от мощности двигателя, на основе справочных данных 6-ти полюсных двигателей типов *KR21 (VEM)*, а также отечественных *МТКФ* и *4МТКФ(Н)*, представлена в [5]. В настоящей работе, на основе экспериментальных данных о величинах электромагнитной постоянной времени ротора двигателей мощностью от единиц до нескольких сотен кВт с числом полюсов от 4 до 10, предпринята попытка предложить аналитические зависимости, связывающие величину электромагнитной постоянной времени ротора с мощностью двигателя и числом полюсов обмотки статора.

2. Материалы исследования

При настройке приводов с частотным управлением, одна из обязательных процедур, называемая автоподстройкой, состоит в уточнении модели двигателя в контроллере ПЧ. В процессе автоподстройки, выполняемой преобразователями частоты серии *Altivar 71* французской фирмы *Schneider Electric* [6, 7] определяются следующие параметры двигателя, подключенного к ПЧ: активное сопротивление статора R_s , ток намагничивания I_{dr} , индуктивность рассеяния L_{fr} и электромагнитная постоянная времени ротора T_{2r} . В табл. 1 представлены результаты выполнения процедур автоподстройки при вводе в эксплуатацию как новых кранов, выпущенных с частотным приводом итальянской фирмой *Danelli* (п/п. 1, 5, 12, 13 и 14), так и модернизированных с заменой РК системы управления на частотное управление (остальные п/п табл.1), причем в п/п. 2, 3, 7 и 9 приведены параметры двигателей с закороченным фазным ротором. Последняя цифра в типе двигателя соответствует числу полюсов p .

Таблица 1
Результаты эксперимента по определению токов I_{dr} , потерь на намагничивание P_{dr}
и электромагнитных постоянных времени ротора T_{2r}

№ п/п.	Кран	Тип двигателя	P_n , кВт	I_n , А	I_{dr} , А	R_s , Ом	P_{dr} , Вт	T_{2r} , мс
1	мостовой	FC180MT4	18,5	36,5	22,1	0,264	387	235
2	портальный	SMH180M6	20	42	25,5	0,22	429	177
3	портальный	SMH200M6	26	53	31,25	0,134	400	263
4	мостовой	K20R 225M8	26	52,5	30,4	0,092	255	248
5	мостовой	C1A200LT4	30	56	32,7	0,116	372	311
6	козловой	K20R250M8	45	92	58,5	0,051	523	300
7	портальный	AFN 167-6с	100	190	83	0,0142	293	590
8	портальный	K21R315L10	100	230	130	0,0142	720	599
9	портальный	ARRK 354-8	110	254	137	0,013	728	770
10	портальный	K21R 315 L8	127	232	97	0,0126	356	880
11	портальный	K22R355M10	150	353	178	0,0074	703	895
12	мостовой	C2A315M-4с	160	280	95,4	0,0157	430	1830
13	мостовой	C2S355L-4a	250	429	122,5	0,0075	338	2850
14	мостовой	C2S355L-6с	315	547	164	0,0064	516	2850

На рис. 1 представлены результаты аппроксимации экспериментально определенных величин электромагнитной постоянной времени ротора при проведении автоподстройки. Эксперименты проводились с двигателями, работающими в составе частотных приводов новых и модернизированных кранов. Двигатели произведены разными фирмами (*VEM*, *Kranbau*

Eberswalde, *Electro ADDA* и др.), диапазон номинальных мощностей от 18,5 до 315 кВт при числе полюсов 4, 6, 8 и 10. Как следует из изображенных на рис. 1 графиков, линейная аппроксимация экспериментальных данных характеризуется высокой достоверностью (R^2 не ниже значения 0,98), причем с ростом числа полюсов электро-

магнитная постоянная ротора при одинаковой мощности уменьшается.

Аппроксимация зависимостей электромагнитной постоянной времени ротора T_{2r} (мс) от номинальной мощности двигателя P (кВт) и числа полюсов p представлена ниже в виде линейных полиномов:

$$p = 4 \quad T_{2r}(4) = 12,05 \cdot P - 32, \quad R^2 = 0,99;$$

$$p = 6 \quad T_{2r}(6) = 9,09 \cdot P - 78, \quad R^2 = 0,98;$$

$$p = 8 \quad T_{2r}(8) = 6,53 \cdot P + 46, \quad R^2 = 0,99.$$

Для числа полюсов $p = 10$ зависимость (на рис.1 не показана)

$$T_{2r}(10) = 5,92 \cdot P + 7, \quad R^2 = 1.$$

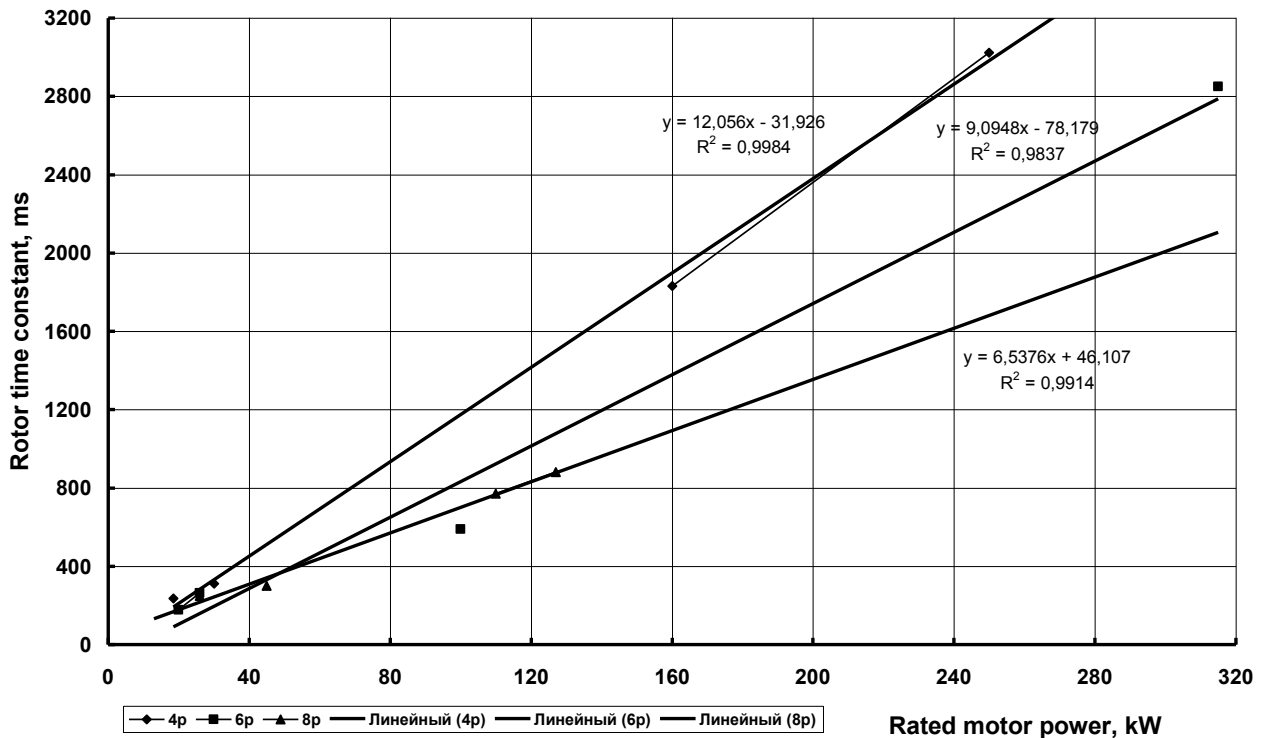


Рис. 1. Графики зависимости электромагнитной постоянной времени ротора T_{2r} от мощности двигателя P и числа полюсов p

Коэффициент уменьшения электромагнитной постоянной времени ротора с увеличением числа полюсов на 2 в интервале от 4 до 8 полюсов, в первом приближении, равен 0,735, а при переходе от 8 к 10 полюсам коэффициент уменьшения составляет 0,9. Следует еще раз отметить, что аппроксимация выполнена с использованием экспериментальных данных, полученных в процессе автоподстройки приводов, укомплектованных двигателями разных производителей.

Исследование характеристик частотных приводов в пусковых режимах выполнялось при помощи диалоговых средств (*soft workshop*) *PowerSuite* (при конфигурации компьютера *Microsoft Windows XP*) и *SoMove* (при конфигурации компьютера *Microsoft Windows 7*).

Графики изменения тока статора и момента двигателя мостового крана с грузовым электромагнитом на начальной стадии пуска приведены на рис. 2. Электромагнитная постоянная времени ротора T_{2r} определена равной 1,29 с в процессе автоподстройки. По команде пуска привода, поданной при $t = 0$, началось изменение тока статора, которое продолжалось на протяжении 0,12 с, достигнув значения 110 % номинального тока двигателя. Изменение момента двигателя от нулевого значения продолжалось на интервале времени $t = 0,38...0,42$ с. т.е. с запаздыванием на 0,4 с относительно поданной команды пуска. Если бы в системе управления преобразователя частоты не было предусмотрено форсирование процесса изменения магнитного поля двигателя, зафиксированное время запаздывания было бы еще больше.

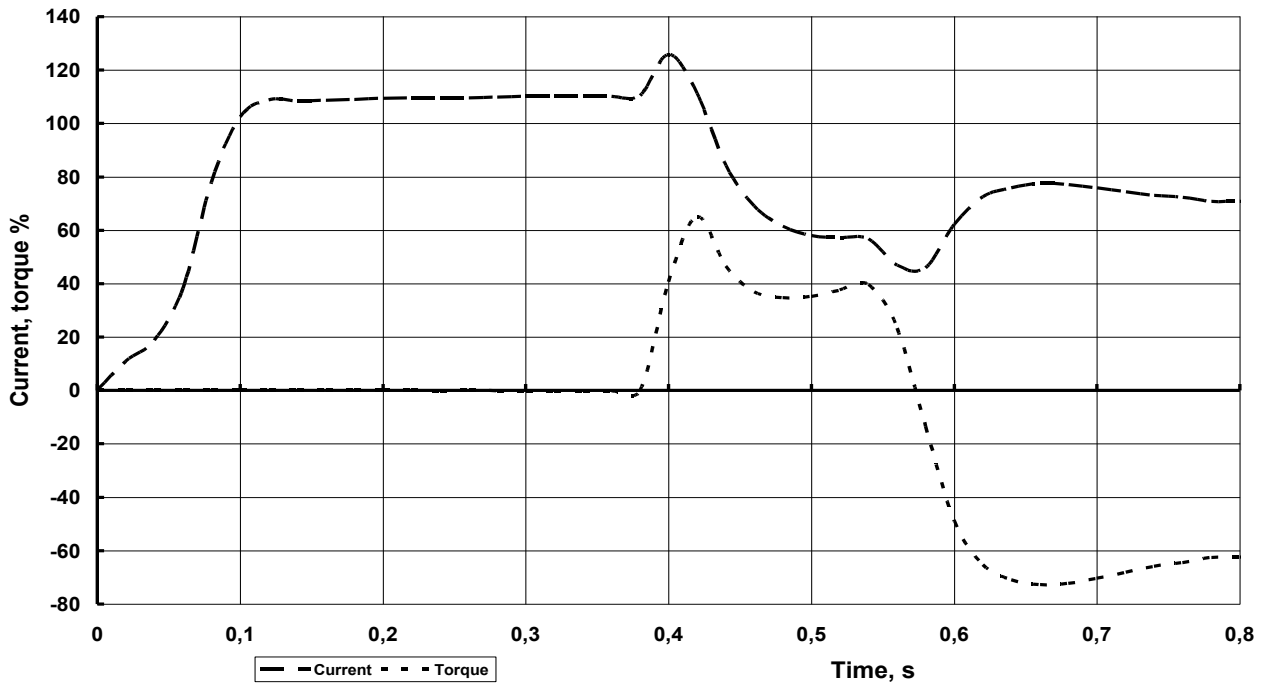


Рис. 2. Привод подъема мостового крана, мощность двигателя 110 кВт, $p = 4$.
Начальная часть пуска на опускание груза.

На рис. 3 представлены аналогичные графики изменения тока статора и момента двигателя на начальной стадии пуска привода подъема разливочного крана. Мощность двигателя $P = 315$ кВт, число полюсов $p = 6$, электромагнитная постоянная времени ротора $T_{2r} = 2,85$ с. Параметры двигателя представлены в табл. 1 (п.14). Изменение тока статора началось по команде пуска

при $t = 1,5$ с, начало изменения момента соответствует отметке времени $t = 2,05$ с, а достижение моментом двигателя значения, позволяющего разрешить открытие тормоза, произошло при $t = 2,55$ с, т.е. через 1,05 с после подачи команды на пуск механизма. Такая задержка в реакции привода ощутима даже для неопытных машинистов крана.

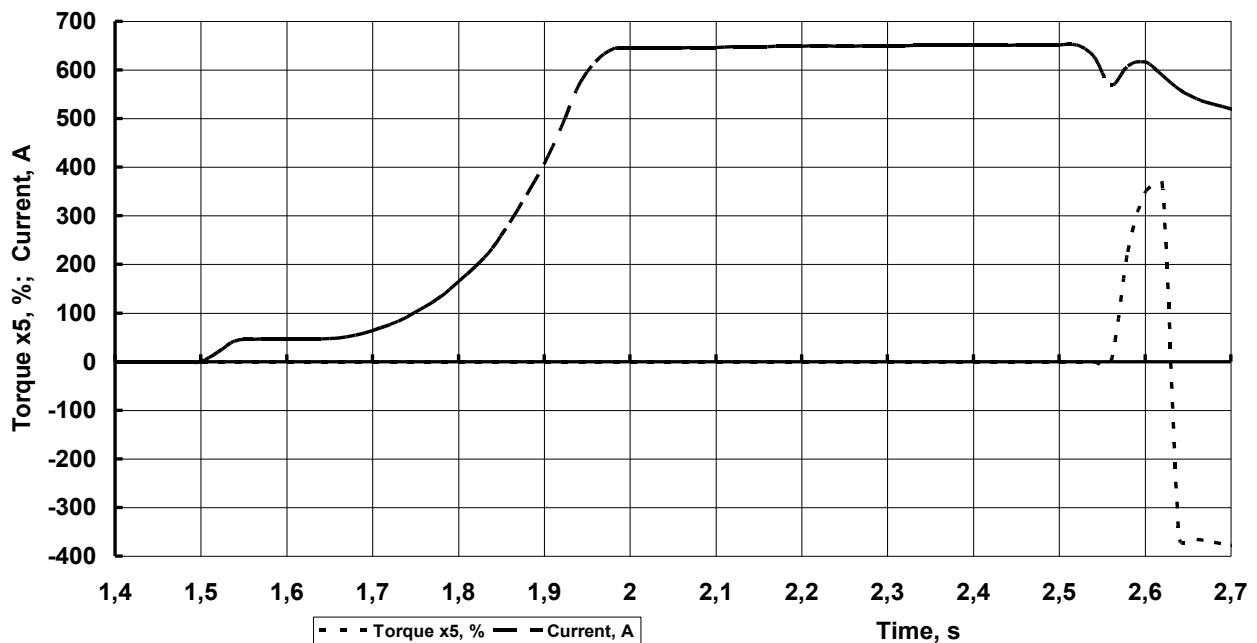


Рис. 3. Привод подъема мостового разливочного крана, мощность двигателя 315 кВт, Число пар полюсов $p = 3$. Начальная часть пуска при опускании тросов

Снижение задержки с началом нарастания момента двигателя возможно при предварительном намагничивании двигателя, при котором по обмоткам двигателя протекает ток намагничивания, величина тока определяется при проведении автоподстройки. Пример реакции привода с предварительным намагничиванием при поступлении команды пуска представлен на рис. 4. До подачи команды пуска по обмоткам статора протекал ток намагничивания I_{dr} , равный 164 А и составляющий 30 % номинального тока двигателя ($I_n = 547$ А). Команда на пуск поступила при $t = 17,4$ с и через 0,15 с, при $t = 17,55$ с, момент

достиг значения, при котором ПЧ выдал команду на открытие тормоза. Сопоставляя графики, представленные на рис. 3 и рис. 4 для одного и того же привода, следует отметить два фактора. Во-первых, время реакции привода сократилось в 7 раз, достигнув величины 0,15 с, которую машинист крана не замечает. Во-вторых, не происходит скачкообразное изменение момента двигателя, которым оперируют в работах, например в [8], посвященных оптимальному по быстродействию управлению крановыми механизмами с частотным приводом.

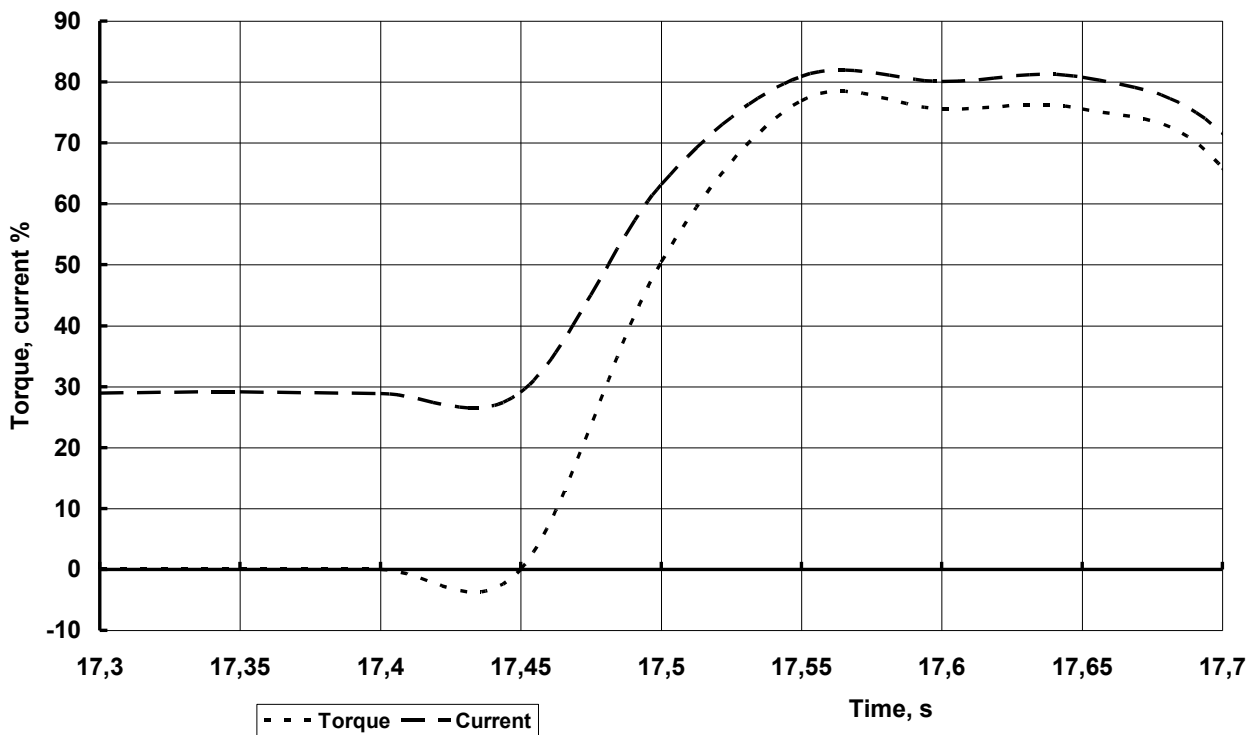


Рис. 4. Привод подъема мостового разливочного крана, мощность двигателя 315 кВт. Начальная часть пуска с предварительным намагничиванием двигателя

При предварительном намагничивании двигателя ток, протекающий по статорной обмотке как во время работы, так и в течение паузы между подачей команд управления, вызывает тепловые потери в двигателе P_{dr} , которые вызывают его дополнительный нагрев. Для недопущения перегрева двигателя следует применять независимую вентиляцию. Расход энергии, идущей на намагничивание двигателя и на независимую вентиляцию, несколько снижает эффект энергосбережения при переходе к частотному приводу, но его следует учитывать в числе других факторов при технико-экономическом обосновании целесообразности внедрения частотного привода. В табл. 1 в предпоследнем столбце приведены расчетные значения тепловых потерь P_{dr} от про-

текания тока намагничивания. Несмотря на изменение номинальных мощностей двигателей от 18,5 до 315 кВт, т.е. в 17 раз, величины тепловых потерь находятся в диапазоне от 255 до 728 Вт (рост в 2,85 раза), и практически слабо зависят от мощности двигателя.

При модернизации систем привода и управления кранов, отработавших более 20 лет, приходится сталкиваться с механизмами, обладающими существенным зазором в кинематических звеньях. Наиболее часто такое явление встречается на механизмах поворота порталных кранов «Альбатрос» [1] и «Сокол» [2]. Эти краны характеризуются высокой скоростью поворота, равной 1,6 об/мин. Механизм поворота приводится в движение двумя двигателями. Кинематическая

цепь состоит из индивидуальных редукторов, выходные шестерни которых входят в зацепление с зубчатым венцом поворотной части крана. В работах [9, 10] выполнен анализ электромеханической системы привода механизма поворота и, по результатам исследований на моделях привода, предложены рекомендации по снижению динамических нагрузок с учетом зазоров $\delta = 2 \dots 3$ рад, приведенных к валам приводных двигателей.

На рис. 5 представлены графики изменения тока, момента, угловой скорости двигателя, а также расчетное значение угла поворота вала двигателя. Эксперимент проведен на приводе поворота портального крана «Сокол» при безударной выборке зазора, равного 6,28 рад. Условия, при которых проведен эксперимент: масса груза 5,5 т, вылет стрелы 24 м, скорость ветра 17 м/с. Параметры приводных двигателей указаны в табл.1 (п. 3).

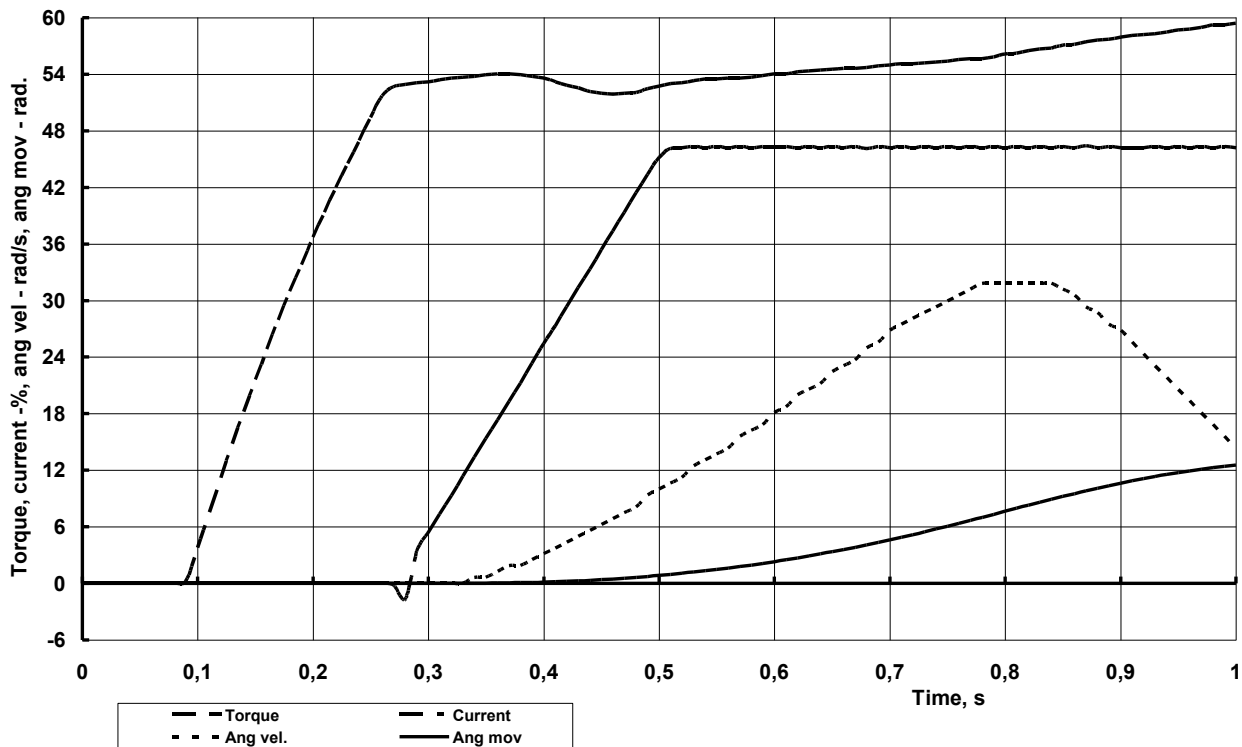


Рис. 5. Привод поворота портального крана «Сокол». Начало разгона с безударной выборкой зазора $\delta = 6,28$ рад

Команда на пуск привода поступила при $t = 0,09$ с. Изменение момента началось при $t = 0,26$ с. Момент двигателя, увеличиваясь по линейному закону по рекомендациям [11], при $t = 0,52$ с стал равным заданному значению. Разгон приводных двигателей сопровождался ростом их угловой скорости в соответствии с уравнением движения, учитывающим механическую инерционность двигателей, характер изменения динамической составляющей момента и величину момента статического сопротивления. Величина статического момента сопротивления определяется значением момента двигателей при начале изменения скорости. Это произошло при $t = 0,33$ с, момент в это время составлял 11,3% номинального момента двигателей. При $t = 0,78$ с выбор зазора закончился, поэтому началось снижение скорости двигателей. Далее движение

привода должно рассматриваться с учетом масс, упругих связей, характера изменяющегося с поворотом крана воздействия ветровой нагрузки, раскачивания подвешенного груза. Это исследование выходит за рамки поставленной цели исследования данной работы. Следует отметить, что обеспечение безударной работы привода поворота, несмотря на наличие существенного люфта (зазора) в кинематической цепи, достигнуто сравнительно простыми средствами с учетом возможностей преобразователя частоты [6] без использования внешних управляющих устройств и дополнительных датчиков координат электромеханической системы.

Выводы

Использование данных экспериментов, полученных при проведении процедуры автопод-

стройки современными преобразователями частоты, позволило найти простые соотношения для определения величины электромагнитной постоянной времени ротора двигателя по мощности и числу полюсов обмотки статора. Эксперименты проведены на кранах различного назначения и грузоподъемности в морских портах и на металлургическом заводе.

Показано влияние величины электромагнитной постоянной времени ротора на задержку изменения пускового момента двигателя. Приведенное сопоставление пусковых режимов с предварительным намагничиванием и без него показало существенное снижение задержки изменения пускового момента двигателя, но одновременно отмечено, что не удается достичь изменения момента скачком.

Представленная осциллограмма безударной выборки зазора величиной 2π радиан свидетельствует о том, что реализация возможностей современных преобразователей частоты, подобных [6, 12], позволяет отказаться от применения дополнительных устройств управления и датчиков обратной связи либо наблюдателей координат, недоступных для непосредственного измерения, при решении подобных задач.

Список использованной литературы

1. Инструкция по эксплуатации порталных кранов «Альбатрос» грузоподъемностью 10/20 т. [Текст] М.: ЦРИА «Морфлот», 1979. – 124 с.
2. Инструкция по эксплуатации порталных кранов «Сокол» грузоподъемностью 16/20/32 т. [Текст] М.: ЦРИА «Морфлот», 1979. – 148 с.
3. Инструкция по эксплуатации порталных кранов «Кондор» постройки 1974–1984 гг. [Текст] М.: В/О «Мортехинформреклама», 1986. – 140 с.
4. Радимов, С. Н. Потенциал энергосбережения электроприводов портовых грузоподъемных машин [Текст] / С. Н. Радимов, К. А. Аниченко // Межвед. науч.- техн. сборник "Электромашиностроение и электрооборудование". Киев, изд. Техніка. Вып. 66. С. 322–323.
5. Акимов, Л. В. Динамические параметры асинхронных двигателей частотно-регулируемых электроприводов [Текст] / Л. В. Акимов, В. О. Котляров, Д. Г. Литвиненко // Електротехніка і Електромеханіка, Харків, 2011, №3. – С. 10–14.
6. Variable speed drives Altivar 71. Catalogue, Schneider Electric, 2006. – 238 p.
7. Variable speed drives Altivar 71. Programming manual, Schneider Electric, 2007. – 288 p.
8. Тепляков, А. Г. Реализация оптимального управления электроприводом механизма поворота [Текст] / А. Г. Тепляков // Електромашинобуд. та електрообладн. – 2002. – Вип. 58. – С. 34–38.
9. Герасимьяк, Р. П. Управление асинхронным электроприводом механизмов поворота, обеспечивающее снижение динамических нагрузок [Текст] / Р. П. Герасимьяк, Е. В. Найдено // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Вісник НТУ «ХП» – Харків: НТУ «ХП» – 2008. – № 30. – С. 111–112.
10. Герасимьяк, Р. П. Улучшение качества переходных процессов при выборе зазора в электромеханических системах [Текст] / Р. П. Герасимьяк, В. В. Субботин // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Техніка. – 2013. – № 10(86). – С. 27–32.
11. Ключев, В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода [Текст] / В. И. Ключев. – М.: Энергия, 1971. – 320 с.
12. Variable speed drives, Altivar Process ATV900. Catalogue, Schneider Electric, October 2016. – 78 p.

References

1. Albatros portal cranes 10/20 t, User manual. (1979) [Instrukciya po ekspluatatsii portalnyh kranov "Albatros" gruzopodjinnostju 10/20 t], CRIA Morflot, M. 124 p.
2. Sokol portal cranes 16/20/32 t, User manual. (1979) [Instrukciya po ekspluatatsii portalnyh kranov "Sokol" gruzopodjinnostju 16/20/32 t], CRIA Morflot, M. 148 p.
3. Condor portal cranes, User manual. Morflot, (1986) [Instrukciya po ekspluatatsii portalnyh kranov "Kondor" postroyki 1974–1984]: V/O "Mortehinformreklama", M. 140 p.
4. Radimov, S. N., Anichenko, K. A., "Potential of energy saving of electric drives of portal hoisting machines", [Potentsial energosberejeniya elektroprivodov portalnih gruzopodjemnih mashin] Kiev, Electrical machinery and electrical equipment, Technika, vol. 66, pp. 322–323.
5. Akimov, L. V., Kotliyarov, V. O., Litvinenko, D. G., (2011) "Dynamic parameters of VFD induction motors", [Dinamicheskie parametric asinhronnih dvigateley chastotno-reguliruemih elektroprivodov], Electrical Engineering and Electromechanics, Kharkiv, vol. 3, pp. 10–14.
6. Variable speed drives Altivar 71. Programming manual, Schneider Electric, 2006. 238 p.
7. Variable speed drives Altivar 71. Programming manual, Schneider Electric, 2007. 288 p.
8. Teplyakov, A. G., (2002) "Implementation of optimum control of the slewing mechanism electric drive", [Realizaciya optimalnogo upravleniya elektroprivodom mehanizma povorota] Technika, Kiev,

Electrical machinery and electrical equipment, vol. 58, pp. 34–38.

9. Gerasimyak, R. P., Naydenko, E. V. (2008) "Control of induction motor drives of the slewing mechanisms with reduced dynamic loads", [Upravlenie asinhronnim elektroprivodom mehanizmov povorota, obespechivayushchee snizhenie dinamicheskikh nagruzok] NTU "KPI" Kharkiv Theory and practice, vol. 30, pp.111–112.

10. Gerasimyak, R. P., Subbotin, V. V. (2013) "Improving the quality of transient processes of taking-up the gap in electromechanical systems",

[Uluchshenie kachestva perehodnykh processov pri vibore zazora v electromekhanicheskikh sistemah], Technica, Electrotechnics and computer systems, vol. 10, pp. 27–32.

11. Kluchev, V. I., (1971) "Limitation of dynamic loads of the electric drive", [Ogranichenie dinamicheskikh nagruzok elektroprivoda] Energy, Moscow. 320 p.

12. Variable speed drives, Altivar Process ATV900. Catalogue, Schneider Electric, October 2016. 78 p.

EVALUATION OF THE ELECTROMAGNETIC TIME-CONSTANT OF SCIM ROTOR AND ITS INFLUENCE ON VFD DYNAMIC CHARACTERISTICS

K. A. Khandakji¹, S. N. Radimov², A. V. Gorjachev³, E. M. Kokoshko⁴

¹Tafila Technical University,

²Odessa National Polytechnic University,

³Ltd Scientific Production Enterprise "Privodserviceplus",

⁴Odessa National Maritime University

Abstract. In hoisting mechanisms equipped with VFD-fed three-phase squirrel-cage induction motor (SQIM), slow response of the drive during starting is observed; such delay in response negatively impacts the operator. This paper presents an explanation of the reasons of the delay in the motor torque growth at starting based on experimental results and analysis. The effect of inertness, determined by the electromagnetic time-constant of the motor rotor is analyzed. In literature, the evaluation of the electromagnetic time-constant of the SCIM rotor is limited to 6-pole motor. However, in this paper, simplified analytical relationships, linking the rotor electromagnetic time-constant of a SQIM with the motor power and number of poles (for $p=4-10$), are obtained on experimental basis. A comparison of VFD starting with a preliminary magnetized/demagnetized motor is performed; a significant decrease in the delay growth of the motor torque with preliminary magnetization is shown. Based on the implementation of the functions of modern VFDs, the process of smooth backlash taking-up in the kinematic transmission for slewing mechanism of a portal crane is presented.

Key words: Cranes, VFD, SCIM, Rotor electromagnetic time-constant evaluation, Torque delay, Backlash smooth taking-up.

ОЦІНЮВАННЯ ВЕЛИЧИНИ ТА ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТОТНОГО ПРИВОДУ

К. А. Хандакжі¹, С. М. Радімов², О. В. Горячев³, Е. М. Кокошко⁴

¹Тафіла технічний університет,

²Одеський національний політехнічний університет,

³ТОВ Науково-виробниче підприємство "Приводсервісплюс",

⁴Одеський національний морський університет

Анотація. На основі даних експериментів отримані прості аналітичні залежності, що зв'язують величину електромагнітної постійної часу короткозамкнутого ротора асинхронного двигуна з його потужністю та кількістю полюсів обмотки статора. Здійснено порівняння процесів пуску частотного електроприводу з попереднім намагнічуванням двигуна і без попереднього намагнічування. Подано процес безударного вибирання проміжку у кінематичній ланці механізму обертання портального крана.

Ключові слова: *підйомні крани, частотний привод, електромагнітна постійна ротора, потужність, кількість полюсів, затримка змінювання моменту, вибирання проміжку.*

Получено 14.04.2017



Хандакжи Камаль Абдальмажид, к.т.н., Доцент кафедри Електротехники и Мехатроники, Тафила Технический Университет, Тафила, Иордания.

Kamal Khandakji, Associate Professor, Department of Electrical Power and Mechtronics, Tafila Technical University, Tafila, Jordan.
Email: drkhandakji@yahoo.com, tel. +96232250034.

ORCID ID: 0000-0003-0322-757X



Радимов Сергей Николаевич, Доктор технических наук, Профессор, Одесский национальный политехнический университет. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, E-mail: radimov7@rambler.ru, тел. +38-095-2896386.

Sergey Radimov, Professor, Doctor of Science, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine.

ORCID ID: 0000-0001-5946-9338



Горячев Александр Валерьевич, директор ООО НПП «Приводсервисплюс». Ул. Солнечная, 8, Одесса, Украина, E-mail: kran10@mail.ru, тел. +38-050-1910846.

Alexandr Goryachev, Head of Ltd SPE "Privodserviceplus". Solnechnaja str., 8, Odessa, Ukraine.

ORCID ID: 0000-0001-9832-8669



Кокошко Евгений Михайлович, ст. преподаватель. Одесский национальный морской университет, ул. Мечникова 34, Одесса, Украина, E-mail: kokoshko1etc@yandex.ru, тел. +38-0638355715.

Eugene Kokoshko, Senior lecturer at Odessa National Maritime University, Mechnikova str., 34, Odessa, Ukraine.

ORCID ID: 0000-0001-5399-3809