

**ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ РОТОРА ПО НОМИНАЛЬНОМУ СКОЛЬЖЕНИЮ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ****С. Н. Радимов<sup>1</sup>, Нечипорук Е.П.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ООО Научно-производственное предприятие "Приводсервисплюс"<sup>2</sup>Одесский национальный политехнический университет.

**Аннотация.** По данным экспериментальных исследований, проведенных с асинхронными двигателями частотного привода мощностью от 11 до 315 кВт с числом полюсов от 4 до 10, получено аналитическое выражение, связывающее оценку величины электромагнитной постоянной времени ротора с номинальным скольжением двигателя. Найденное соотношение справедливо как для двигателей с короткозамкнутым, так и с фазным ротором при замыкании ротора накоротко.

**Ключевые слова:** подъемные краны, частотный привод, электромагнитная постоянная ротора, скольжение, запаздывание нарастания момента, затухание ЭДС.

**Введение**

Удовлетворение требований технологических процессов при рациональном потреблении электрической энергии связано в современном электроприводе преимущественно за счет все более широкого использования асинхронного электропривода с частотным управлением (АЭЧУ). Эта система электропривода успешно конкурирует и постепенно вытесняет электроприводы постоянного тока с тиристорными преобразователями на механизмах, требующих повышенное быстродействие. К таким механизмам относятся, например, летучие ножницы, установленные на технологических линиях листопрокатных и сортопрокатных станов. Наиболее эффективен переход к АЭЧУ, например, на подъемно-транспортных механизмах, работающих в напряженных повторно-кратковременных режимах.

Такой переход возможен по двум направлениям. Первое направления связано с производством новых кранов, в которых приводы механизмов предусматривают использование в составе АЭЧУ асинхронных электродвигателей (АД) с короткозамкнутым ротором. В этом направлении активно участвуют как отечественные предприятия, такие как Новокраматорский машиностроительный завод, ПО Азовмаш, заводы подъемно-транспортного оборудования в Харькове, Запорожье, Александрии, так и зарубежные фирмы, например, *Danieli, Kone* и др.

Второе направление связано с модернизацией существующих кранов, на которых применяются АД с фазным ротором. Для использования в составе АЭЧУ обмотки ротора таких двигате-

лей замыкаются накоротко, либо, по желанию предприятия-заказчика модернизации, вместо двигателей с фазным ротором устанавливаются двигатели с короткозамкнутым ротором. Как было отмечено в [1], на кранах с частотным управлением наблюдается эффект замедленной реакции частотного привода в режиме пуска, вызывающий негативную реакцию у машинистов кранов, привыкших работать с системой релейно-контакторного (РК) управления. Асинхронный двигатель создает момент на валу после формирования магнитного поля ротора, скорость нарастания которого определяется величиной электромагнитной постоянной времени ротора (ЭПВР), равной отношению собственной индуктивности цепи 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 собственного сопротивления обмотки ротора. Поэтому при РК системе управления задержка с началом движения привода составляет от нескольких сотых до 1-2 десятых долей секунды, что практически не ощутимо для оператора. При частотном приводе задержка с началом движения зависит от величины ЭПВР, которая определяется номинальными параметрами двигателя.

Влияние величины ЭПВР проявляется также при определении времени уменьшения электродвижущей силы АД до уровня, обеспечивающего благоприятные условия для повторного включения двигателя, питающегося от сети, после внезапного отключения питания с последующим восстановлением

## 1. Постановка задач исследования

В работе [2] представлен анализ справочных данных 6-ти полюсных двигателей общепромышленного применения типа *KR21 (VEM)* - [3], а также отечественных двигателей краново-металлургических серий *MTKF* [4] и *4MTKF(H)* [5]. В результате анализа определены основные динамические параметры АД, в том числе величины электромагнитной постоянной времени ротора, и представлены в виде графиков их зависимости от мощности и серии двигателя. В [1], на основе экспериментальных данных о величинах ЭПВР АД мощностью от единиц до нескольких сотен кВт с числом полюсов от 4 до 10, предложены графоаналитические зависимости, связывающие величину ЭПВР с мощностью двигателя и числом полюсов обмотки статора.

В настоящей работе на базе углубленного анализа массива экспериментальных данных предлагается заменить графоаналитические соотношения для ЭПВР, учитывающие мощность двигателя и число полюсов, универсальным эмпирическим выражением. Назначение этого выражения – оценивать величину электромагнитной постоянной ротора по каталожным данным двигателя. Оно не зависит от исполнения ротора (короткозамкнутый ротор или фазный, замкнутый накоротко), мощности двигателя и числа полюсов.

## 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], помимо активного сопротивления статора  $R_1$ , тока намагничивания  $I_\mu$  и индуктивности рассеяния обмотки статора  $L_1$ , определяется величина электромагнитной постоянной времени ротора  $T_2$ . В табл. 1 представлены сведения о номинальных параметрах двигателей, исполнении ротора и экспериментальные результаты определения величины ЭПВР. Представленные в табл.1 двигатели установлены:

- на плавкране г/п 25/50 т при модернизации, в процессе которой тиристорные приводы посто-

янного тока заменены частотными приводами с двигателями (п/п. 3, 4 и 6) фирмы *ABB* [9];

- на модернизированном порталном кране «Кировец» г/п 16 т при замене РК системы управления на частотное управление и двигателями с фазным ротором на короткозамкнутые фирмы *VEM* [3] - (п/п. 5, 8 и 11).

Модернизация РК системы управления на частотное управление, выполненная без замены двигателей путем замыкания накоротко роторов установленных двигателей, произведена на порталных кранах «Ganz» 16/27,5 т (п/п. 7), «Sokol» (п/п. 10 и 13), на котором установлены двигатели *Kranbau Eberswalde (KE)*, и кране «Кировец» г/п 32/16 т (п/п. 14 и 15), с двигателями отечественного производства [4, 5].

Номинальные параметры двигателей по п/п. 5, 7, 8, 10 и 13 считаны непосредственно с заводских табличек по следующим причинам: - в каталоге *VEM* [3] представлена информация по двигателям с числом полюсов от 2 до 8; - информация о двигателях кранов «Ganz» и «Sokol» отсутствует в доступных источниках.

При совместном анализе номинальных параметров АД и экспериментально определенных величин ЭПВР был учтен их физический смысл, согласно которому значение электромагнитной постоянной ротора обратно пропорциональна собственному активному сопротивлению ротора  $R_2$ , которому, в свою очередь, пропорционально скольжение двигателя  $s$ . Паспортные данные двигателя позволяют однозначно определить величину номинального скольжения  $s_n$ :

$$s_n = (n_c - n_n) / n_c. \quad (1)$$

В (1)  $n_c$  и  $n_n$ , соответственно, синхронная и номинальная частоты вращения двигателя.

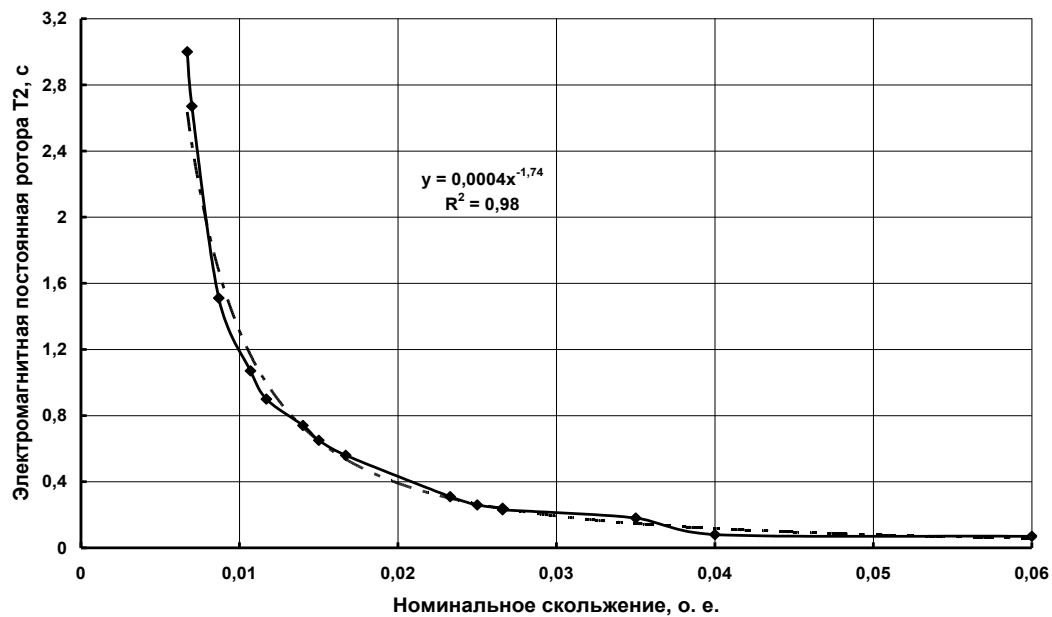
Для установления зависимости между величинами ЭПВР и номинального скольжения в табл. 1 добавлены столбцы с номинальной частотой вращения  $n_n$  и скольжением  $s_n$  двигателей. Зависимость в виде графика  $T_2 = f(s_n)$  представлена на рис.1. Ее аппроксимация степенной функцией (штрихпунктирная линия)

$$T_2 = 4 \cdot 10^{-4} \cdot s_n^{-1,74}, \quad (2)$$

характеризуется достоверностью  $R^2 = 0,98$ .

Інформація о параметрах АД, исполнении и электромагнитной постоянной времени ротора

№ п/п.	Тип двигателя	Номинальные параметры двигателя			Исполнение ротора кз./фазн.	Постоянная времени ротора $T_2$ , с	Фирма-изготовитель
		Мощность, кВт	Частота вращения $n_n$ , об/мин	Скольжение $s_n$ , о.е.			
1	<i>C2S355L-4a</i>	250	1490	0,0067	кз.	3,0	<i>Italy</i>
2	<i>C2S355L-6c</i>	315	993	0,007	кз.	2,67	<i>Italy</i>
3	<i>M3BP315LKA4</i>	250	1487	0,0087	кз.	1,51	<i>ABB</i>
4	<i>M3BP280SMA4</i>	75	1484	0,0107	кз.	1,07	<i>ABB</i>
5	<i>K22F355M10</i>	150	593	0,0117	кз.	0,9	<i>VEM</i>
6	<i>M3BP225SMA4</i>	37	1479	0,014	кз.	0,74	<i>ABB</i>
7	<i>AFN 167-6c</i>	100	985	0,015	фазн.	0,65	<i>Ganz</i>
8	<i>K21R315L10</i>	100	590	0,0167	кз.	0,56	<i>VEM</i>
9	<i>C1A200LT4</i>	30	1465	0,0233	кз.	0,31	<i>Italy</i>
10	<i>SMH200M6</i>	26	975	0,025	фазн.	0,26	<i>KE</i>
11	<i>K20R 225M8</i>	26	730	0,0266	кз.	0,24	<i>VEM</i>
12	<i>FC180MT4</i>	18,5	1460	0,0266	кз.	0,23	<i>Italy</i>
13	<i>SMH180M6</i>	20	965	0,035	фазн.	0,18	<i>KE</i>
14	<i>4MTH-280S10</i>	45	576	0,04	фазн.	0,08	Динамо
15	<i>MTH -311-6</i>	11	940	0,06	фазн.	0,07	Динамо

Рис. 1. График зависимости электромагнитной постоянной времени ротора  $T_2$  от скольжения  $s_n$

Несмотря на высокое значение показателя достоверности для всего диапазона представленных значений номинального скольжения, расчеты значений  $T_2$  по соотношению (2) для нижней части диапазона сопровождаются погрешностью относительно измеренных значений, доходящей до 25 %. Понятно, что такой результат не может считаться удовлетворительным. Для повышения точности оценки величины ЭПВР предложено

разбить весь диапазон значений номинального скольжения  $s_n$  на 2 участка:  $0,0067 \leq s_n \leq 0,0107$  (первый) и  $0,0107 \leq s_n \leq 0,06$  (второй). Графики зависимостей  $T_2 = f(s_n)$  для обоих участков значений номинального скольжения  $s_n$  приведены на рис. 2 (а, б). На обоих графиках выполнена аппроксимация зависимости  $T_2 = f(s_n)$  трендами в виде степенных функций, изображенных на графиках штрихпунктирными линиями:

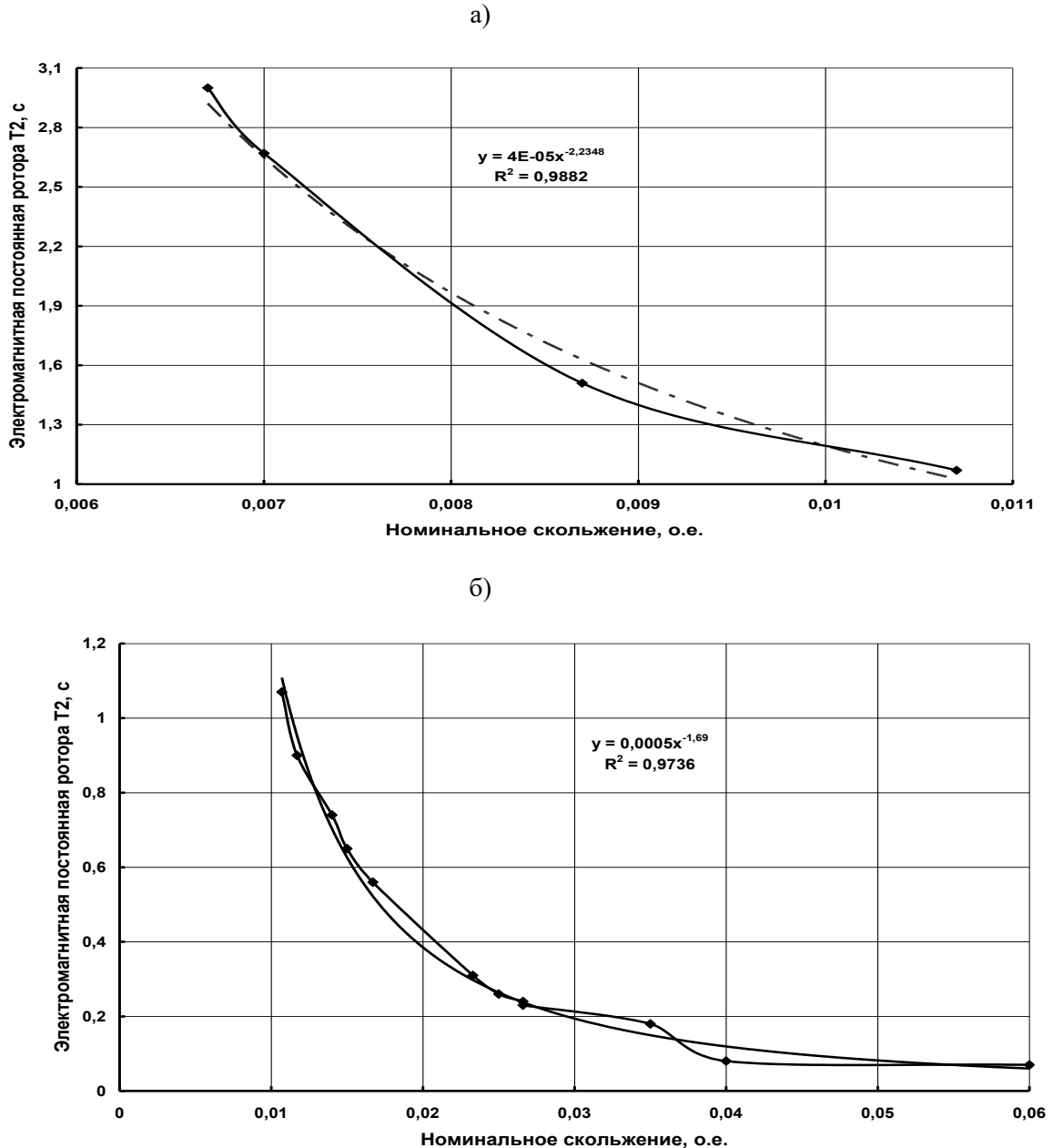


Рис. 2. Графики зависимости электромагнитной постоянной ротора  $T_2$  от  $s_n$ :  
а)  $0,0067 \leq s_n \leq 0,0107$ , б)  $0,0107 \leq s_n \leq 0,06$ .

на первом участке (а)

$$T_2 = 4 \cdot 10^{-5} \cdot s_H^{-2,2348}, \quad (3)$$

с достоверностью  $R^2 = 0,98$  и на втором участке (б)

$$T_2 = 5 \cdot 10^{-4} \cdot s_H^{-1,69}, \quad (4)$$

при показателе достоверности

$$R^2 = 0,9736.$$

Расчеты величин  $T_2$ , выполненные по соотношениям (3) и (4) показали, что рассчитанные значения отличаются от представленных в табл. 1 экспериментально определенных значений не более, чем на 3 %.

Информация о величине ЭПВР необходима при определении благоприятных условий для повторного включения АД с КЗР, питающегося от сети, после внезапного отключения питания с последующим восстановлением под действием автоматического включения резерва (АВР). Двигатель, благодаря накопленному запасу кинетической энергии, продолжает вращаться после аварийного отключения питания. Его электродвижущая сила (ЭДС) уменьшается как из-за снижения частоты вращения под действием нагрузки на валу, так и затухания поля ротора, темп изменения которого определяется величиной ЭПВР. До тех пор, пока значение ЭДС двигателя не снизится до 3-5 % напряжения сети, при подключении двигателя к сети пусковой ток, определяемый суммой напряжения сети и ЭДС двигателя, будет превышать значения, соответствующие пуску неподвижного двигателя.

В качестве иллюстрации, на рис. 3 представлены графики изменения фазного напряжения сети (а) и тока (б) асинхронного двигателя с КЗР привода насосного агрегата утилизационного котла газовой турбины. Основные параметры двигателя: мощность 75 кВт, номинальная частота вращения 2970 об./мин. Изменение линейного напряжения на выводах обмотки статора и его электродвижущей силы (ЭДС) приведено на рис. 3 (в). ЭДС измеряется на выводах двигателя при отключенном питании. Напряжение в сети исчезло при  $t=1$  с и восстановилось через интервал времени 1,6 с при  $t = 2,6$  с. Протекание тока через обмотки двигателя прекратилось с отключением напряжения на отметке  $t = 1$  с. Попытка запустить двигатель одновременно с восстановлением напряжения ( $t = 2,6$  с) привела к срабатыванию токовой защиты. К этому моменту времени ЭДС двигателя еще равнялась 19 % сетево-

го напряжения. Успешное повторное подключение двигателя произошло при  $t = 4,7$  с, т.е. через промежуток  $\Delta t = 3,7$  с после внезапного отключения питания. В это время ЭДС двигателя уменьшилась до 3 % напряжения сети.

Следует отметить, что осциллограммы, представленные на рис. 3, были сняты 15 лет назад и позволили определить условия успешного повторного запуска АД. С учетом изложенной возможности оценки величины ЭПВР по номинальному скольжению двигателя определение паузы, необходимой для снижения уровня ЭДС двигателя до желательного значения для успешного повторного включения двигателя, в дальнейшем не потребует снятия осциллограмм переходных процессов затухания ЭДС.

Действительно, рассматриваемый двигатель характеризуется номинальным скольжением  $s_H = 0,01$ . Согласно соотношению (3) значение ЭПВР оценивается на уровне  $T_2 = 1,18$  с. Определим интервал времени  $\Delta t$ , необходимый для снижения ЭДС двигателя  $E$  после внезапного отключения питания до 5 % напряжения сети, при котором обеспечивается успешное повторное подключение двигателя. При расчете пренебрегаем снижением частоты вращения двигателя и пропорциональной ей ЭДС, обусловленной взаимодействием момента нагрузки на валу и запаса кинетической энергии. Также принимаем, что снижение ЭДС двигателя происходит по экспоненциальному закону

$$E = E_{\text{нач}} \cdot \exp(-\Delta t/T_2), \quad (5)$$

и значение начальной ЭДС  $E_{\text{нач}}$  в первом приближении равняется напряжению сети (100 %). Известно, что при экспоненциальном законе уменьшения переменной ее значение входит в зону 5 % отличия от начальной величины в течение трех постоянных времени. В рассматриваемом примере  $\Delta t = 3 \cdot T_2 = 3,54$  с. Отметим практическое совпадение величин интервала времени  $\Delta t$ , определенного по осциллограммам (рис. 3) и расчетного, основанного на оценке значения ЭПВР.

До настоящего времени для привода барабанов летучих ножниц с пуском при каждом резе применяется система постоянного тока ТП-Д [11]. После команды на пуск привода ножниц линейная скорость барабанов с режущими кромками должна сравняться или даже превысить на 2-5 % скорость полосы к моменту встречи с ней

в заданном месте реза. Для достижения такого согласования движений барабанов и разрезаемого на мерные длины материала требуется форсированный пуск привода ножниц, при котором момент приводных двигателей достигает необходимой величины (не менее 200 % номинального значения) за время, не превышающее 0,02 мс. Такой темп нарастания момента без проблем ре-

ализуется в системе привода постоянного тока ТП-Д.

В перспективе для перехода к частотному приводу ножниц с АД потребуются сведения о величинах ЭПВР и времени запаздывания при пуске двигателя с использованием постоянного намагничивания.

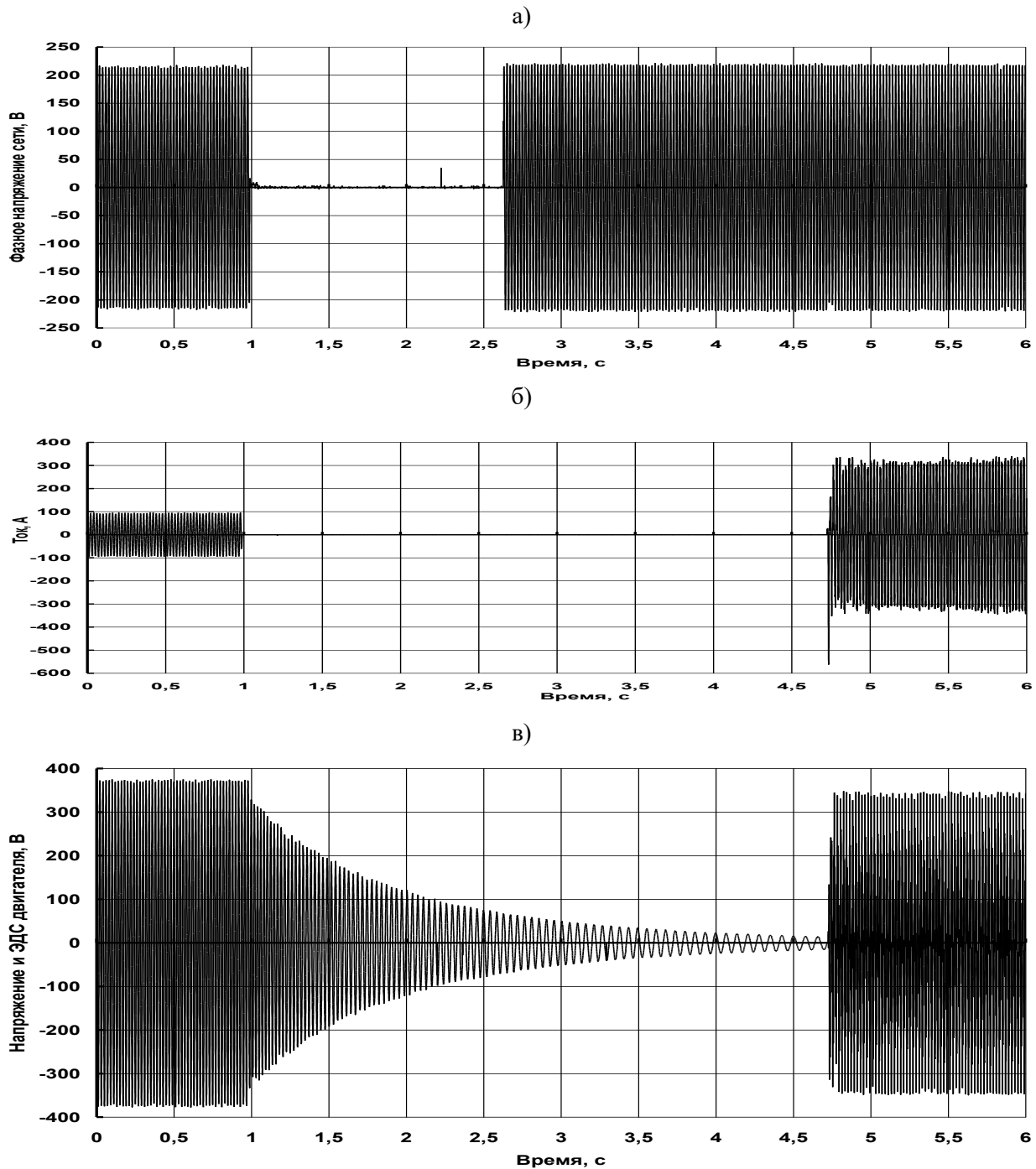


Рис. 3. Осциллограммы напряжения сети (а), тока (б) и ЭДС двигателя (в) в процессе повторного подключения двигателя при работе АВР.

Как свидетельствуют осциллограммы изменения тока статора и момента, развиваемого двигателем, представленные в [1], а также полученные при последующих экспериментальных исследованиях, задержки с началом изменения момента после получения команды на разгон привода, составляют от 0,3 до 0,4 величины ЭПВР без постоянного намагничивания и до 0,05 с при постоянном намагничивании. Сюда следует добавить интервал времени 0,02 с нарастания момента двигателя до значений, обеспечивающих форсированный разгон барабанов ножниц.

### Выводы

Представленные в табл.1 экспериментальные значения ЭПВР получены при внедрении частотного привода основных механизмов кранов различного назначения и грузоподъемности в морских портах, а также при оказании технической помощи персоналу электротехнической службы металлургического завода в освоении частотного привода мостовых кранов, представленных итальянской фирмой *Danieli*.

Использование данных экспериментов, полученных при проведении процедуры автоподстройки, позволяющей скорректировать параметры модели привода, заложенной в программном обеспечении современных преобразователей частоты, позволило найти универсальное соотношение для оценки величины электромагнитной постоянной времени ротора по номинальному скольжению двигателя. Это соотношение не требует информации о мощности двигателя, числе (пар) полюсов обмотки статора и исполнении ротора.

Предлагаемое соотношение оценки величины электромагнитной постоянной времени ротора позволяет принять решения по таким вопросам:

- следует ли переходить к предварительному намагничиванию двигателя частотного привода, работающего в напряженных повторно-кратковременных режимах, для устранения запаздывания нарастания момента при пуске с одновременным определением необходимости независимой вентиляции двигателя;

- при определении длительности временной паузы, равной трем постоянным времени ротора, необходимой для снижения уровня ЭДС асинхронного двигателя, питающегося непосредственно от сети либо от устройства плавного пуска, после внезапного отключения питания, до желательного значения, обеспечивающего успешное повторное включение двигателя после восстановления питания.

### Список использованной литературы

1. Хандакжи, К. А. Оценка величины и влияния электромагнитной постоянной времени ротора асинхронного двигателя на динамические характеристики частотного привода [Текст] / К. А. Хандакжи, С. Н. Радимов, А. В. Горячев, Е. М. Кокошко // Электротехнические и компьютерные системы, Киев, Техника. Вып. 25 (101), 2017. - С. 17–25.
2. Акимов, Л. В. Динамические параметры асинхронных двигателей частотно-регулируемых электроприводов [Текст] / Л. В. Акимов, В. О. Котляров, Д. Г. Литвиненко // Электротехніка і Електромеханіка, Харків, 2011, № 3. – С. 10–14.
3. Низковольтные трехфазные асинхронные электродвигатели [Текст]. Каталог, VEM, 2005.– 250 с.
4. Крановое электрооборудование: Справочник [Текст]. Под ред. А. А. Рабиновича. –М.: Энергия, 1979. – 240 С.
5. Яуре, А. Г. Крановый электропривод: Справочник [Текст] / А. Г. Яуре, Е. М. Певзнер //М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.
6. Variable speed drives Altivar 71 [Text]. Catalogue, Schneider Electric, 2006. – 238 p.
7. Variable speed drives Altivar 71. Programming manual [Text], Schneider Electric, 2007. – 288 p.
8. Electro ADDA. [Text] Three-phase asynchronous motors. C Series – Frame sizes 63 – 500. – 126 p.
9. Низковольтные электродвигатели промышленного назначения [Текст]. Каталог, АВВ, 2014. – 128 с.
10. SoMove. Setup Software for motor control devices for Pcs [Text]. Catalogue, Schneider Electric, May 2017. – 9 p.
11. Афанасьев, В. Д. Электропривод автоматических летучих ножниц [Текст]. /М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 142 с.

### References

1. Khandakji, K. A., Radimov, S. N., Gorjachev, A. V., Kokoshko, E. M., (2017) "Evaluation of the electromagnetic time-constant of SCIM rotor and its influence on VFD dynamic characteristics", [Ocenka velichiny i vliyania elektromagnitnoy postoyannoy vremeni rotora asinhronnogo dvigatelya na dinamicheskie haracteristiki chastotnogo privoda], Technica, Electrotechnics and computer systems, vol. 25, pp. 17–25.
2. Akimov, L. V., Kotliyarov, V. O., Litvinenko, D. G., (2011) "Dynamic parameters of VFD induction motors", [Dinamicheskie parametri asinhronnih dvigateley chastotno-reguliruemih elec-

troprivodov], Electrical Engineering and Electromechanics, Kharkiv, vol. 3, pp. 10–14.

3. Three-phase asynchronous motors for low voltage [Nizkovoltnye trehfaznye asinhronnye elektrodvigateli]. Catalog, VEM, 2005. 250 p.

4. "Crane electrical equipment", [Cranovoe elektrooborudovanie: Spravochnic. Pod red. A. A. Rabinovicha], Moscow.: Energiya, 1979. 240 p.

5. Jaure, A. G., Pevzner, E. M., (1988) "Crane electrical drive", [Cranoviy elektroprivod: Spravochnic], Moscow.: Energoatomizdat, 344 p.

6. Variable speed drives Altivar 71. Programming manual, Schneider Electric, 2006. 238 p.

7. Variable speed drives Altivar 71. Program-

ming manual, Schneider Electric, 2007. 288 p.

8. Electro ADDA. Three-phase asynchronous motors. C Series – Frame sizes 63 – 500. 126 p.

9. Low voltage motors [Nizkovoltnye elektrodvigateli promyshlennogo naznachenya], Catalog, ABB, 2014. – 128 p.

10. SoMove. Setup Software for motor control devices for Pcs. Catalogue, Schneider Electric, May 2017. - 9 p.

11. Afanasjev, V. D. (1962) "Electrical drive of automatic flying shears", [Elektroprivod avtomaticheskikh letuchih nognic], Moscow –Leningrad.: Gosenergoizdat, 142 p.

## EVALUATION OF THE ELECTROMAGNETIC TIME-CONSTANT OF SCIM ROTOR BASED UPON ITS RATED SLIP

S. N. Radimov<sup>1</sup>, Nechiporuk E.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ltd Scientific Production Enterprise "Privodserviceplus"

<sup>2</sup>Odessa National Polytechnic University

**Abstract.** Based upon data of experimental researches with VFD controlled asynchronous motors with rated power 11-315 kW, number of poles  $p=4-10$ , produced by leading manufacturers, there was established the relationship between rated slip  $s$  of the motor and the rotor electromagnetic time-constant  $T_2$ . As a result of the researches there was received the analytical expression that uniquely relates the estimate of the rotor electromagnetic time-constant of the asynchronous motor with its rated slip, and this expression depends neither the motor power nor the number of poles. The relationship found is valid for both squirrel-cage and wound-rotor induction motors when the rotor is shorted. Its approximation of the power function is characterized by the reliability of estimate  $R^2 = 0,98$  for the whole range of considered values of the nominal slip (from 0.0067 to 0.06). Due to the fact that the calculated values of  $T_2$  from the approximated expression made for the lower part of the slip range differ from the measured values of the constant rotor with a difference of up to 25%, the entire range of nominal slip  $s$  is divided into 2 sections:  $0.0067 \leq s \leq 0.0107$  (first) and  $0.0107 \leq s \leq 0.06$  (second). At both sections there is performed approximation of  $T_2=f(s)$  with power functions characterized by the reliability of estimate  $R^2 = 0.98$  at the first and  $R^2 = 0.9736$  at the second section. Calculations of the  $T_2$  values performed for both sections showed that the calculated values differ from the experimentally determined values by no more than 3%. The determination of the delay for the successful automatic restart of the asynchronous squirrel-cage motor, feeding directly from the network, necessary to attenuate its EMF to a level of 3-5% of the mains voltage after a sudden loss of line supply and its recovery with automatic load transfer, is considered. There are defined preconditions under which it is possible to implement VFD for the mechanism of the flying shear drum.

**Key words:** Cranes, VFD, Rotor electromagnetic time-constant, Rated slip, Torque increase delay, EMF attenuation.

## ОЦІНЮВАННЯ ВЕЛИЧИНИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА НОМІНАЛЬНИМ КОВЗАННЯМ ЧАСТОТНОГО ПРИВОДУ

С. М. Радімов<sup>1</sup>, Нечипорук Є.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОВ Науково-виробниче підприємство "Приводсервісплюс"

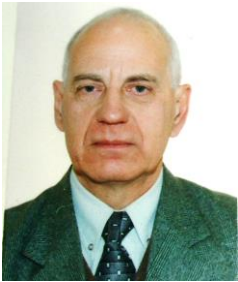
<sup>2</sup>Одеський національний політехнічний університет.



**Анотація.** На основі даних експериментальних досліджень, проведених з асинхронними двигунами частотного приводу потужністю від 11 до 315 з кількістю полюсів від 4 до 10, які виготовлені провідними фірмами, встановлено, що існує залежність між значеннями номінального ковзання двигунів  $s$  та електромагнітної постійної часу ротора  $T_2$ . В результаті досліджень отримано аналітичний вираз, що однозначно зв'язує оцінку значення електромагнітної постійної часу ротора з номінальним ковзанням асинхронного двигуна, причому цей вираз не залежить ні від потужності двигуна, ні від кількості полюсів. Знайдене співвідношення справедливе як для двигунів з короткозамкненим, так і з фазним ротором, замкненим на коротко. Його апроксимація степеневою функцією характеризується показником вірогідності  $R^2 = 0,98$  для усього діапазону розглянутих значень (від 0,0067 до 0,06) номінального ковзання. У зв'язку з тим, що розраховані значення  $T_2$  за апроксимованим виразом, виконані для нижньої частини діапазону ковзання, відрізняються від вимірюваних значень постійної ротора з похибкою, що доходить до 25 %, весь діапазон номінального ковзання  $s$  поділено на 2 ділянки:  $0,0067 \leq s \leq 0,0107$  (перший) та  $0,0107 \leq s \leq 0,06$  (другий). На обох ділянках виконана апроксимація залежності  $T_2=f(s)$  степеневими функціями з показниками вірогідності  $R^2 = 0,98$  на першій та  $R^2 = 0,9736$  на другій ділянці. Розрахунки значень  $T_2$  на обох ділянках супроводжується малою похибкою (до 3 %) між результатами розрахунку та вимірювань. Розглянуто визначення затримки часу для успішного повторного підключення асинхронного двигуна, який живиться безпосередньо від мережі, необхідне для згасання його електрорушійної сили (ЕРС) до рівня 3-5 % напруги мережі після раптового зникнення та відновлення напруги при дії автоматичного включення резерву. Визначено попередні умови, за яких стане можливим впровадження частотного приводу на механізми барабанів летючих ножиців.

**Ключові слова:** підйомні крани, частотний привод, електромагнітна постійна ротора, номінальне ковзання, запізнення зростання моменту, згасання ЕРС.

Получено 20.04.2018



**Радимов Сергей Николаевич**, доктор технических наук, профессор, ведущий специалист ООО НПП «Приводсервисплюс». Ул. Солнечная, 8, Одесса, Украина, E-mail: [radimov26@gmail.com](mailto:radimov26@gmail.com), тел. +38-095-2896386.

**Sergey Radimov**, Professor, Doctor of Science, Key staff of Ltd SPE Privodserviceplus". Solnechnaja str., 8, Odessa, Ukraine, E-mail: [radimov26@gmail.com](mailto:radimov26@gmail.com), tel. +38-095-2896386.

**ORCID ID:** 0000-0001-5946-9338



**Нечипорук Евгения Павловна**, ассистент кафедры электроснабжения и энергоменеджмента Одесского национального политехнического университета.

Ул. Вильямса, 75, Одесса, Украина,  
E-mail: [e pn211988@yahoo.com](mailto:e pn211988@yahoo.com), tel. +38-050-0993302800.

**Evgenia Nechiporuk**, Assistant of the Department of Power Supply and Energy Management of the Odessa National Polytechnic University. st. Williams, 75, Odessa, Ukraine, E-mail: [e pn211988@yahoo.com](mailto:e pn211988@yahoo.com), tel. +38-050-0993302800.

**ORCID ID:** 0000-0002-8443-2446