

УДК 621.313

В. О. Квашнин, канд. техн. наук,
В. А. Косенко

АНАЛИЗ ТРЕХФАЗНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ И ИТЕРАЦИОННОЙ МЕТОДИК

Аннотация. Рассмотрено влияние параметров однофазной схемы замещения АД, полученных аналитическим и итерационным методами, на результаты моделирования в предлагаемой 3-х фазной модели двигателя при различных режимах его работы – при пуске, работе на холостом ходу и под нагрузкой. Проведен сопоставительный анализ переходных процессов угловой скорости, момента на валу, а также фазных токов статорной цепи в функции от времени, которые были получены в результате моделирования.

Ключевые слова: динамическая модель, асинхронный двигатель, угловая скорость ротора, токи статорной цепи, моделирование

V. Kvashnin, PhD.,
V. Kosenko

ANALYSIS OF DYNAMIC MODEL OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR USING PARAMATARS DERIVED FROM ANALYTICAL AND ITERATIVE TECHNIQUES

Abstract. The effect of determining the parameters of a single-phase equivalent circuit AD analytical and iterative methods for the simulation results with the proposed 3-phase motor model for different modes of its work - at start-up, idling and under load. Comparative analysis of the transients of the angular velocity of shaft torque and phase current stator circuit as a function of time, which were obtained by simulation.

Keywords: dynamic model, induction motor, angular velocity, stator circuit currents, modeling

В. О. Квашнін, канд. техн. наук,
В. А. Косенко

АНАЛІЗ ТРИФАЗНОЇ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАМЕТРІВ, ОТРИМАНИХ НА ОСНОВІ АНАЛІТИЧНОЇ ТА ІТЕРАЦІЙНОЇ МЕТОДИК

Анотація. Розглянуто вплив параметрів однофазної заступної схеми АД, розрахованих аналітичним і ітераційним методами, на результати моделювання у запропонованій трифазній моделі двигуна при різних режимах його роботи - при пуску, неробочому ході і під навантаженням. Проведено порівняльний аналіз перехідних процесів кутової швидкості, моменту на валу, а також фазних струмів статорного ланцюга у функції від часу, які були отримані в результаті моделювання.

Ключові слова: динамічна модель, асинхронний двигун, кутова швидкість ротора, струми статорного ланцюга, моделювання

Введение. При построении моделей асинхронных электроприводов одной из ключевых задач является определение параметров двигателя. Решение этой проблемы экспериментальным путем требует наличия дополнительной аппаратуры, которая по каким-либо причинам может быть недоступна. Поэтому возникает необходимость в определении таких параметров другими способами, в качестве которых могут быть использованы аналитические [1 – 4] или итерационные [5] методы.

Целью данной работы являлось сравнение двух методик по определению параметров схемы замещения двигателя, на основе которых осуществляются расчеты параметров и коэффициентов трехфазной динамической модели асинхронного двигателя (АД) [6 – 7].

В качестве объекта исследования, для которого проводилась оценка результатов рассматриваемых методик, был взят двигатель АИР100L2, основные паспортные данные которого приведены в табл. 1.

© Квашнин В.О., Косенко В.А. 2015

1. Паспортные данные АД с короткозамкнутым ротором АИР100L2

Параметр	Ед. изм.	Значение
Мощность, P_n	кВт	5,5
Скорость, n_n	об/мин	2850
Ток, I_n	А	11
Момент, M_n	Н·м	18,1
КПД, η	%	88
Коэф. мощности, $\cos(\varphi)$		0,88
I_n / I_n		7,5
M_n / M_n		2,1
M_k / M_n		2,4
Момент инерции, J	кг·м ²	0,01

Основной задачей исследования в работе являлось получение на модели АД зависимостей $\omega(t)$, $M(t)$, $I(t)$ (для различных режимов работы) с последующим их анализом.

Теоретическое описание

Аналитический метод основан на определении параметров Т-образной схемы замещения АД (рис. 1)

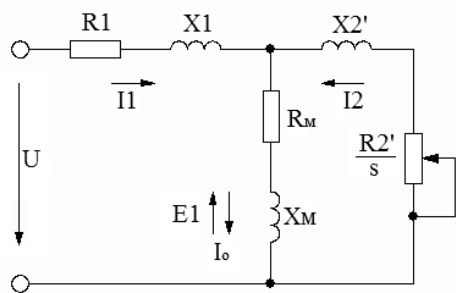


Рис. 1. Т-образная схема замещения АД с КЗ ротором

с использованием основных расчетных соотношений для определения рабочего тока (I_n) и тока холостого хода двигателя (I_0)

$$I_n = \frac{P_n}{m_1 \cdot U_{1n} \cdot \cos \phi_n \cdot \eta_n}, \quad (1)$$

где, P_n – номинальная мощность двигателя; m_1 – число фаз; U_{1n} – номинальное фазное напряжение статора; $\cos \phi_n$ – номинальный коэффициент мощности двигателя; η_n – номинальный КПД.

Выражение для тока холостого хода имеет следующий вид

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_n \cdot (1 - S_n) / (1 - p_* \cdot S_n))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - S_n) / (1 - p_* \cdot S_n))^2}}, \quad (2)$$

где, p_* – коэффициент загрузки двигателя; I_{11} – ток статора двигателя при частичной нагрузке.

Итерационная методика [7 – 8] построена на основе определения параметров для упрощенной Г-образной схемы замещения (рис. 2) с использованием всего лишь двух независимых уравнений [8]:

– уточненной формулы Клосса, которая описывается выражением

$$M = \frac{M_k (2 + \alpha S_k)}{S/S_k + S_k/S + \alpha S_k}, \quad (3)$$

где M , M_k – текущий и критический моменты двигателя; S , S_k – текущее и критическое значения скольжения; $\alpha = 2R_1/R_2'$ – расчетный коэффициент,

– выражения для определения активного фазного сопротивления обмотки статора

$$R_1 = \frac{3 \cdot U^2}{M_k \cdot 2 \cdot \omega_0 \cdot (1 + 2/\alpha \cdot S_k)}. \quad (4)$$

Недостатком итерационной методики является необходимость в дополнительном определении тока холостого хода I_0 , который приближенно можно принять

$$I_0 \approx (0.35 - 0.9) \cdot I_n, \quad (5)$$

где большее значение принимается для АД малых мощностей (0,12 – 1) кВт, а меньшее ($I_0 = 0.35 I_n$) для двигателей больших мощностей. Для реального двигателя всегда можно измерить I_0 (для рассматриваемого двигателя ток холостого хода составил $I_0 = 0,7 I_n$ А). Кроме того, в итерационной методике возможно

определение только лишь суммарного индуктивного сопротивления

$$X_k = X_1 + X_2' \quad (6)$$

В этом случае для определения параметров динамической модели АД приходится принимать

$$X_1 \approx X_2' = X_k / 2. \quad (7)$$

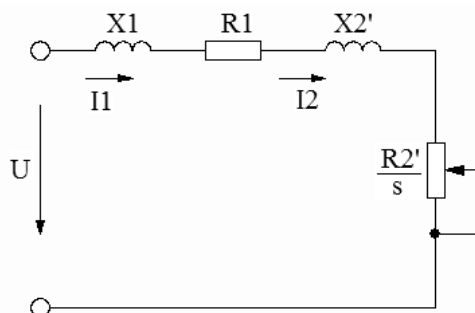


Рис. 2. Г-образная схема замещения

Аналитические исследования

Найденные аналитическим и итерационным методом значения сопротивлений статорной и роторной цепей двигателя вместе с соответствующими их паспортными значениями приведены в табл. 2. Как видно из таблицы, значения фазных сопротивлений для R_1 , R_2' , X_1 и X_2' располагаются между соответствующими значениями сопротивлений, определенных аналитическим и итерационным методами.

2. Расчетные и паспортные значения сопротивлений статорной и роторной цепи двигателя

Параметры	R_1 , Ом	X_1 , Ом	R_2' , Ом	X_2' , Ом
Аналитический метод	0,912	1,666	0,742	2,247
Итерационный метод	1,112	1,439	0,83	1,439
Паспортные данные	1	1,1	0,75	2,3

Для анализа и оценки полученных результатов моделирования использовалась ранее разработанная трехфазная динамическая модель АД, которая была реализована в пакете прикладных программ Matlab Simulink [9 – 13].

Используемая трехфазная динамическая модель АД имеет следующее математическое описание

$$\begin{cases} U_{sA} - k_r U_{rA} = R_s \cdot i_{sA} + \sigma L_s p \cdot i_{sA}; \\ U_{sB} - k_r U_{rB} = R_s \cdot (-\frac{1}{2} \cdot i_{sA} + \frac{\sqrt{3}}{2} i_{sB}) + \sigma L_s p \cdot (-\frac{1}{2} \cdot i_{sA} + \frac{\sqrt{3}}{2} i_{sB}); \\ U_{sC} - k_r U_{rC} = R_s \cdot (-\frac{1}{2} \cdot i_{sA} - \frac{\sqrt{3}}{2} i_{sB}) + \sigma L_s p \cdot (-\frac{1}{2} \cdot i_{sA} - \frac{\sqrt{3}}{2} i_{sB}); \\ 0 = T_r^{-1} \psi_{rA} - k_r R_r \cdot i_{sA} + p \psi_{rA} + \omega_r \cdot \psi_{rB}; \\ 0 = T_r^{-1} \psi_{rB} - k_r R_r \cdot i_{sB} + p \psi_{rB} - \omega_r \cdot \psi_{rA}; \\ M = \frac{3}{2} z_p k_r (\psi_{rA} i_{sB} - \psi_{rB} i_{sA}); \\ \omega = \frac{M}{Jp}. \end{cases} \quad (8)$$

где k_r – коэффициент магнитной связи ротора; σ – коэффициент рассеяния; U_{sA} , U_{sB} , U_{sC} – напряжения фаз статора; U_{rA} , U_{rB} , U_{rC} – напряжения фаз ротора; i_{sA} , i_{sB} , i_{sC} – токи фаз статора A , B и C соответственно; L_s – индуктивность обмоток статора; Z_p – число пар полюсов; J – момент инерции двигателя; p – оператор Лапласа; Ψ_{s1} , Ψ_{s2} – проекции тока и потокоцепления статора соответственно на оси координат; Ψ_{r1} , Ψ_{r2} – проекции тока и потокоцепления ротора соответственно на оси координат; T_r – электромагнитная постоянная ротора.

Система уравнений (8) представляет собой математическую модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в координатной системе α - β с трехфазным напряжением питания.

В результате моделирования были получены зависимости скорости, тока и момента, представленные на рисунках 3; 4 и 5, где под номером 1 представлены графики скорости – $\omega(t)$, момента – $M(t)$ и тока фазы статора – $I(t)$ модели двигателя, полученные с использованием расчетных данных аналитической методики. Под номером 2 – графики $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$, которые были получены с использованием данных, рассчитанных по итерационной методике. В обоих случаях для расчета параметров модели использовалось значение тока холостого хода I_0 , полученное аналитическим методом.

Анализ полученных зависимостей для различных режимов работы, рассчитанных по различным методикам, представлен в табл. 3.

Под номером 1 в табл. 3 приведены результаты моделирования зависимостей с использованием параметров, найденных на основе аналитического метода, а под номером 2 – с использованием итерационного метода.

3. Сопоставительный анализ зависимостей $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$

Зависимость	Единица измер.	Режим	1	2
Ток	$I_{\max}$, А	$I_{0 \max}$	5,6	5,6
		$I_{н \max}$	19,18	18,5
	I, А	Холостой Ход	3,6	3,6
		Ном. Нагрузка	10,78	10,7
	$t_{\text{пп}}$, с	Пуск	0,16	0,1
		Наброс нагрузки	0,05	0,05
Момент	$M_{\max}$, Н·м	$M_{п \max}$	60,2	90,4
		$M_{н \max}$	25,6	24,3
	$t_{\text{пп}}$, с	Пуск	0,3	0,2
		Наброс нагрузки	0,145	0,145
Скорость	$\omega_{\max}$, C^{-1}	$\omega_{п \max}$	328,8	324,3
		$\omega_{н \max}$	293,1	295,4
	$t_{\text{пп}}$, с	Пуск	0,181	0,1
		Наброс нагрузки	0,09	0,09

Также было проведено сравнение полученных зависимостей, когда в случае подготовки данных для

динамической модели АД по итерационной методике, использовался уже известный ток холостого хода $I_0 = 0,7$ А, определенный путем измерения на двигателе. Графики $\omega(t)$, $M(t)$, $I(t)$ представлены на рисунках 6; 7; 8 и 9.

На графиках переходных процессов (рисунки 6; 7; 8 и 9) под номером 1 представлены зависимости $\omega(t)$, $M(t)$, $I(t)$ модели асинхронного двигателя, полученные при использовании аналитической методики расчета. Под номером 2(1) – зависимости $\omega(t)$, $M(t)$, $I(t)$ динамической модели асинхронного двигателя, которые были получены на основе итерационной методике с использованием реального тока холостого хода.

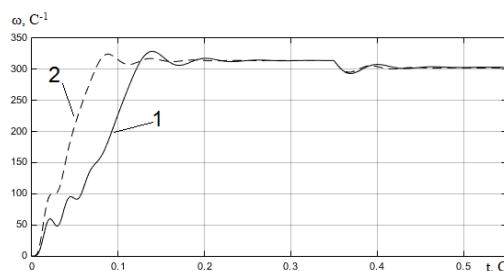


Рис. 3. Угловая скорость: по аналитическим – 1; итерационным – 2 данным

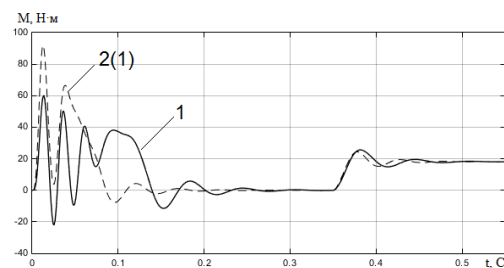


Рис. 4. Электромагнитный момент двигателя: по аналитическим – 1; итерационным – 2 данным

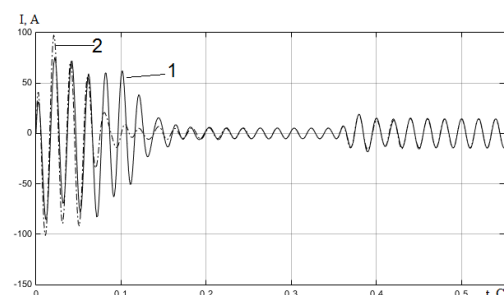


Рис. 5. Ток фазы статора: по аналитическим – 1; итерационным – 2 данным

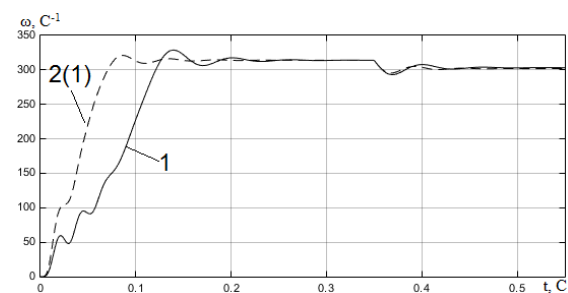


Рис. 6. Угловая скорость: по аналитическим – 1; итерационным с использованием реального тока I_0 – 2(1) данным

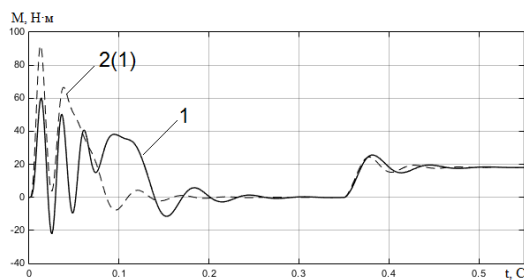


Рис. 7. Электромагнитный момент: по аналитическим – 1; итерационным с использованием реального тока I_0 – 2(1) данным

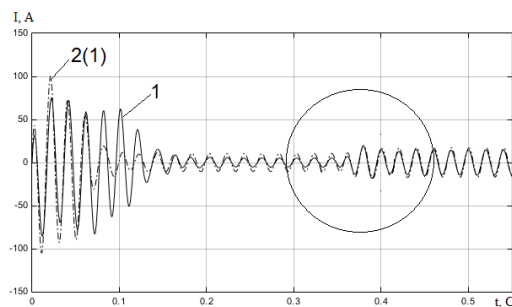


Рис. 8. Ток фазы статора: по аналитическим – 1, итерационным с использованием реального тока I_0 – 2(1) данным

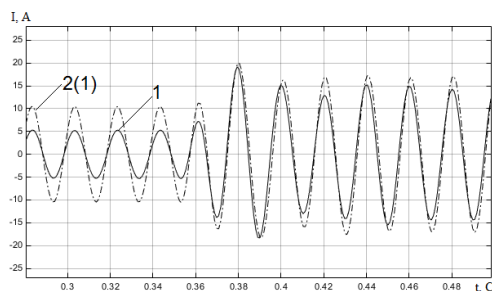


Рис. 9. Ток фазы статора (холостой ход и наброс номинальной нагрузки): по аналитическим – 1; итерационным с использованием реального тока I_0 – 2(1) данным

В таблице 4 приведен анализ переходных процессов тока фазы статора, электромагнитного момента и угловой скорости электродвигателя. Под номером 1 приведены результаты моделирования зависимостей с использованием параметров найденных на основе аналитического метода, а под номером 2(1) результаты, которые были получены на основе итерационной методики с использованием заданного (реального) тока холостого хода.

Анализ полученных зависимостей дает возможность увидеть, что при использовании итерационной методики процесс пуска двигателя протекает быстрее. Это обусловлено получаемыми большими значениями пускового тока и соответствующего ему пускового момента. Также стоит отметить, что аналитическая методика, несмотря на очень близкую сходимость с паспортными данными, дает все же более идеализированный процесс. Немаловажным фактором является полученный в результате моделирования ток холостого хода.

4. Сопоставительный анализ зависимостей $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ при использовании реального тока холостого хода

Зависимость	Единица измерений	Режим	1	2(1)
Скорость	$\omega_{\max}$, C^{-1}	$\omega_{\text{п max}}$	328,8	321,1
		$\omega_{\text{н max}}$	293,1	295,5
	$t_{\text{пп}}$, с	Пуск	0,181	0,1
		Наброс нагрузки	0,09	0,09
Ток	$I_{\max}$, А	$I_{0 \text{ max}}$	5,6	10,5
		$I_{\text{н max}}$	19,18	20
	I, А	Холостой ход	3,6	7,35
		Номиналь. нагрузка	10,78	11,2
	$t_{\text{пп}}$, с	Пуск	0,16	0,1
		Наброс нагрузки	0,05	0,05
Момент	$M_{\max}$, Н·м	$M_{\text{п max}}$	60,2	91,8
		$M_{\text{н max}}$	25,6	24,3
	$t_{\text{пп}}$, с	Пуск	0,3	0,2
		Наброс нагрузки	0,145	0,145

Несмотря на различие методов подготовки параметров динамической модели АД и определенное относительное различие фазных значений сопротивлений двигателя, полученные в результате моделирования зависимости $\omega(t)$, $M(t)$ и $I(t)$ в установившихся режимах работы при номинальной нагрузке полностью совпадают. Совпадают также и переходные процессы при набросе нагрузки. В случае использования в модели различных значений токов холостого хода, при нагружении двигателя до номинального момента, получаемые фазные токи модели двигателя выравниваются и становятся равными номинальному. При этом просадка скорости в модели двигателя соответствует паспортному номинальному скольжению.

Выводы

Использованные в работе методики определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором дают сходимость с паспортными значениями в пределах инженерных допусков. Результаты моделирования в установившихся режимах соответствуют заданным и паспортным значениям.

Однако стоит отметить, что использование методики основанной на аналитических расчетах занимает много времени в отличие от итерационной.

Список использованной литературы

1. Мощинский Ю. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю. А. Мощинский, В. Я. Беспалов, А. А. Кирякин // *Электричество*. – М. : – 2002. – № 4. – С. 39 – 42.
2. Квашнин В. О. Методика аналитического определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя / В. О. Квашнин // *Вісник: Східноукраїнського національного університету – Луганськ* : – 2000; – Вип. 8(30). – С. 54 – 59.

3. Родькин Д. И. Схемы замещения асинхронных двигателей в задачах идентификации их электромагнитных параметров / Д. И. Родькин, Ю. В. Ромашихин // Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» науково-технічного журналу «ЕЛЕКТРОІНФОРМ». – Львів : ЕКОІнформ, 2009. – С. 392 – 396.

4. Эпштейн И. И. Расчет параметров асинхронного двигателя / И. И. Эпштейн // Энергоснабжение. Энергетика. Энергоаудит. – Харьков : – 2014. – № 8 (126). – С. 57 – 61.

5. Квашнин В. О. Моделирование асинхронных электродвигателей с использованием пакета программ DELPHI / В. О. Квашнин, А. М. Наливайко // Электромашиностроение и электрооборудование. – К. : – 2006. – Вып. 66. – С. 219 – 220.

6. Квашнин В. О. Разработка динамической модели асинхронного двигателя / В. О. Квашнин // Вісник Східноукраїнського Національного університету – Луганськ : – 2006: Вип. 1 (95). – С. 87 – 91.

7. Квашнин В. О. Удосконалення методики визначення енергетичних характеристик асинхронного двигуна з використанням його математичної моделі / В. О. Квашнин, В. А. Косенко // Сборник трудов XX международной научно-технической конференции г. Севастополь 2013, 3-й том 302 с. – С. 274 – 277.

8. Бабаш А. В. Усовершенствование методики определения параметров асинхронного двигателя / А. В. Бабаш, В. О. Квашнин // Вісник кафедри «Електротехніка» за підсумками наукової діяльності студентів. – Донецьк : ДонНТУ, 2009 – 181 с.

9. Saad Al Kazzaz, and Singh G.K., (2003), Experimental Investigations on Induction Machine Condition Monitoring and Fault Diagnosis using Digital Signal Processing Techniques, *Electric Power Systems Research* 65, pp. 197 – 221.

10. Bellini A., Filippetti F., Tassoni C., and Capolino G.A., (2008), Advances in Diagnostic Techniques for Induction Machines, *IEEE Trans. Industrial Electronics*, 55 (12), pp. 4109 – 4126.

11. Семенов А. С. Моделирование режимов работы асинхронного двигателя в пакете программ Matlab / А. С. Семенов // Вестник северо-восточного федерального университета им. М. К. Амосова Якутск : – 2014. – № 1. – Т. 11. – С. 51 – 59.

12. Морозов Д. І. Електромагнітні і електро механічні процеси в асинхронному двигуні при живленні його від джерела струму / Д. І. Морозов, І. С. Шевченко, Ю. П. Самчелеєв // Вісник НТУ ХПІ. Проблеми автоматизованого електроприводу (теорія і практика). – Харьков : – 2013. – № 36 (1009). – С. 112 – 114.

13. Попович О. М. Підвищення адекватності математичних моделей асинхронного електроприводу / О. М. Попович, І. В. Головань // Вісник НТУ ХПІ. Проблеми автоматизованого електроприводу (теорія і практика). – Харьков : – 2013. – № 36 (1009). – С. 64 – 65.

Получено 25.05.2015

References

1. Moshinskiy U.A., Bepalov V.Y., and Kiryakin A.A. Opredelenie parametrov shemi zamesheniya asinhronnoy mashini po katalognim dannim [Determination of Equivalent Circuit Parameters of an Induction Machine to Catalog Data], 1998, *Electrichestvo*, No. 4, pp. 39 – 42 (In Russian).

2. Kvashnin V.O. Metodika analiticheskogo opredeleniya parametrov shemi zamesheniya asinhronnogo dvigatelya [Technique of Analytical Determination of the Parameters of the Equivalent Circuit of the Induction Motor], (2000), *Visnik Shidnoukrainskogo Nacionalnogo Universitetu: Naukoviy Jurnal*, Lugansk, Ukraine, Vol. No. 8 (30), pp. 54 – 59 (In Russian).

3. Rodkin D.I., and Romashihin Yu.V. Shemi zamescheniya asinhronnih dvigatelei v zadachah identifikatsii ih elektromagnitnih parametrov [Equivalent Circuit of Asynchronous Motors in Identifying their Problems Electromagnetic Parameters], (2009), *Tematichnii Vipusk "Problemi Avtomatizovanogo Elektroprivoda. Teoriya i Praktika" Naukovo-Tekhnichnogo Jurnalulu "ELEKTROINFORM"*, Lviv, EKOINFORM, pp. 392 – 396 (In Russian).

4. Epshtein I.I. Raschet parametrov asinhronnogo dvigatelya [Dimensioning of the Induction Motor], (2014), *Energosnabjenie. Energetika. Energoaudit*, No. 8(126), pp. 57 – 61 (In Russian).

5. Kvashnin V.O., and Nalivayko A.M. Modelirovanie asinhronnih elektrodvigateley s ispolzovaniem paketa programm DELPHI [Modeling of Induction Motors using a Software Package DELPHI], (2006), *Elektromashinostroenie i Elektrooborudovanie*, No. 66, pp. 219 – 220 (In Russian).

6. Kvashnin V.O. Razrabotka dinamicheskoy modeli asinhronnogo dvigatelya [Development of a Dynamic Model of the Induction Motor], (2006), *Visnik Shidnoukrainskogo Nacionalnogo Universitetu: Naukoviy Jurnal*, Lugansk, Ukraine, No. 1(95), pp. 87 – 91 (In Russian).

7. Kvashnin V.O., and Kosenko V.A. Udoskonalennya metodiki viznachennya energetichnih harakteristik asinhronnogo dviguna z vikoristannyam yogo matematichnoi modeli [Improved Methods of Determining the Energy Characteristics of Induction Motor using his Mathematical Model], (2013), *Sbornik Trudov XX Mejdunarodnoy Nauchno-Tekhnicheskoy Konferencii, Sevastopol 2013, 3-y tom 302 p.*, pp. 274 – 277 (In Ukrainian).

8. Babash A.V., and Kvashnin V.O. Usovershenstvovanie metodiki opredeleniya parametrov asinhronnogo dvigatelya [Improving Methods for Determining the Parameters of Induction Motor], (2009), *Visnik Kafedri "Elektrotehnika" za Pidsumkami Naukovoi Diyalnosti Studentiv*, Doneck, Ukraine, DonNTU, pp. 181 – 185 (In Russian).

9. Al-Kazzaz S.A.S., and Singh G.K., (2003), Experimental Investigations on Induction Machine Condition Monitoring and Fault Diagnosis using Digital Signal Processing Techniques, *Electric Power Systems Research* 65, pp.197–221 (In English).

10. Bellini A., Filippetti F., Tassoni C., and Capolino G.A., (2008), Advances in Diagnostic Techniques for Induction Machines, *IEEE Trans. Industrial Electronics* 55 (12), pp. 4109 – 4126 (In English).

11. Semenov A.S. Modelirovanie rejimov raboti asinhronnogo dvigatelya v pakete programm Matlab [Simulation Modes of Operation of the Induction Motor in the Software Package Matlab], (2014), *Vestnik Severo-Vostochnogo Federalnogo Universiteta im. M.K. Ammosova*, No. 1(Vol. 11), pp. 51 – 59 (In Russian).

12. Morozov D.I., Shevchenko I.S., and Samchelev Yu.P. Elektromagnitni i elektromehanichni procesi v asinhronnomu dviguni pri jivlenni iogo vid dжерела strumu [Electromagnetic and Electromechanical Processes in Asynchronous Motor with Power from the Power Outlet], (2013), *Visnik NTU HPI. Problemi Avtomatizovanogo Elektroprivodu (Teoriya i Praktika)*, No. 36 (1009), pp. 112 – 114 (In Ukrainian).

13. Popovich O.M., and Golovan I.V. Pidvischennya adekvatnosti matematichnih modelei asinhronnogo elektroprivodu [Increasing Adequacy of Mathematical Models of Asynchronous Electric], (2013), *Visnik NTU HPI, Problemi Avtomatizovanogo Elektroprivodu (Teoriya i Praktika)*, No. 36 (1009), pp. 64 – 65 (In Ukrainian).



Квашнин
Валерий Олегович,
к.т.н., доц. каф. электромеханических систем автоматизации и электропривода Донбасской государственной машиностроительной академии.
Тел. 0626 41-68-93,
+38 (050) 989-77-01.
E-mail: v.kvashnin@mail.ru



Косенко
Владислав Артурович,
аспирант каф. электромеханических систем автоматизации и электропривода Донбасской государственной машиностроительной академии.
Тел. +38 (099) 709-57-84.
E-mail: vladislavart44@mail.ru