

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ХАРАКТЕРЕ НАГРУЖЕНИЯ

И.Я. Браславский, В.П. Метельков, А.В. Костылев, Д.В. Есаулкова

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Рассматриваются некоторые особенности моделирования электроприводов, работающих в режиме случайного нагружения. Показано, что при моделировании электропривода в случайных режимах нельзя переносить закон распределения вероятностей для нагрузки, характеризуемой величиной момента двигателя, на закон распределения для мощности потерь в нем. Также показано, что величина дисперсии для процесса нагружения может очень существенно отличаться от дисперсии для амплитуд нагрузки этого процесса, причем разница может быть как в меньшую, так и в большую сторону, в зависимости от продолжительности включения и математического ожидания амплитуды. Рассмотрено влияние ограничения момента двигателя на функции плотности вероятностей момента нагрузки и мощности потерь. Показано, что законы распределения без учета ограничения момента и с учетом этого ограничения – это два разных закона, которые имеют, в общем случае, разные значения дисперсии и математического ожидания.

Ключевые слова: электропривод, моделирование, случайные нагрузки, закон распределения вероятности, функция плотности распределения.

Введение

В различных отраслях промышленности и сельскохозяйственной отрасли существует широкий круг электроприводов, нагрузка которых определяется различными факторами, имеющими случайный характер. Это приводы различных транспортных средств, экскаваторов, подъемников и многие другие. Случайный характер нагрузки определяется значениями момента сопротивления, величиной динамических моментов при пуске и торможении, продолжительностью периодов нагружения и пауз.

При моделировании случайных нагрузок электроприводов приходится сталкиваться с некоторыми особенностями, которым, зачастую, не придают значения, но которые могут существенно повлиять на результаты исследования. Авторы хотели бы поделиться некоторыми соображениями по этому поводу, основанными на собственном практическом опыте моделирования электроприводов.

В этой статье мы остановимся на трех особенностях, на которые следует обратить внимание при моделировании электроприводов, работающих при случайном характере нагружения, которые нам показались наиболее существенными:

- связь между законами распределения вероятностей нагрузки электропривода и распределения вероятности мощности потерь в двигателе;
- разница между дисперсией амплитуды нагрузки и дисперсией всего процесса нагружения;
- влияние ограничений, накладываемых конечным значением момента двигателя, на законы распределения вероятностей для нагрузки и мощности потерь в двигателе.

1. Закон распределения вероятностей для нагрузки и закон распределения вероятностей для мощности потерь

1.1. Причины существования разницы между законами распределения вероятностей для нагрузки и для мощности потерь

При исследовании электроприводов, работающих в режимах случайного нагружения, важно иметь в виду, что мощность потерь в машине связана с нагрузкой (моментом) нелинейной зависимостью. Например, при работе асинхронного двигателя в пределах рабочего участка механической характеристики, где скольжение мало, связь между моментом и мощностью потерь может быть представлена следующим выражением

$$p = am^2 + b, \quad (1)$$

где $p = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{\Delta P_{\Sigma N}}$; $m = \frac{M}{M_N}$; $a = \frac{A}{\Delta P_{\Sigma N}}$; $b = \frac{B}{\Delta P_{\Sigma N}}$;

$$A = \Delta P_{sN} - 3R_s I_0^2 + M_N s_N \omega_0 + (I_{sN}^2 - I_0^2) \frac{\Delta P_{LLN}}{I_{sN}^2};$$

$$B = 3R_s I_0^2 + \frac{\Delta P_{LLN}}{I_{sN}^2} I_0^2 + \Delta P_{fe.N} + \Delta P_{fw.N}.$$

В (1) $\Delta P_{\Sigma N}$, ΔP_{sN} , ΔP_{LLN} , $\Delta P_{fe.N}$, $\Delta P_{fw.N}$ – мощности потерь в номинальном режиме: суммарная, в обмотке статора, дополнительные потери под нагрузкой, в стали, механических и вентиляционных потерь; ΔP_{Σ} – суммарная мощность потерь при моменте M ; M_N – номинальный момент; I_{sN} , I_0 – номинальный ток статора и ток холостого хода; R_s – сопротивление статорной обмотки; s_N – номинальное скольжение; ω_0 – синхронная скорость.

При нелинейных преобразованиях случайной величины, ее закон распределения вероятностей не сохраняется. На основе подхода, изложенного в [1, 2], были получены аналитические выражения

функций распределения плотности вероятностей для мощности потерь $h(p)$, соответствующие некоторым законам распределения вероятностей момента $h(m)$, которые представлены в [3]. Например, для нормального закона распределения момента:

$$h(m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_m} e^{-\frac{(m-E_m)^2}{2\sigma_m^2}}; \quad (2)$$

$$h(p) = \begin{cases} \frac{\sigma_m^{-1}}{\sqrt{2\pi a(p-b)}} e^{-\frac{\frac{p-b}{a} + E_m^2}{2\sigma_m^2}} \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{E_m \sqrt{\frac{p-b}{a}}}{\sigma_m}\right), & p \geq b; \\ 0, & p < b, \end{cases} \quad (3)$$

где σ_m – среднее квадратичное отклонение m ; E_m – математическое ожидание m ;

На рис. 1 показаны функции плотности вероятности $h(m)$ (рис. 1, а) и $h(p)$ (рис. 1, б), построенные по выражениям (2) и (3) для параметров асинхронного двигателя 4А100L4, а также гистограммы распределения 10^6 значений случайной величины m (рис. 1, в) и связанной с ней через выражение (1) величины p (рис. 1, г) для этого же двигателя (n – количество значений в диапазоне). Графики на рис. 1 построены для среднего квадратичного значения m , равного 0,5. Из этих графиков хорошо видно, что законы распределения вероятностей для момента и мощности потерь очень существенно отличаются друг от друга. Это означает, что при моделировании электропривода, рабо-

тающего в режиме случайного нагружения, нельзя переносить закон распределения для момента на распределение мощности потерь.

1.2. Количественная оценка различий между средними квадратичными значениями для нагрузки и мощности потерь

Рассмотрим работу привода при изменяющейся нагрузке, где продолжительность интервалов нагрузки Δt неизменна, но амплитуда нагрузки изменяется в соответствии с определенным законом распределения вероятностей. Назовем этот режим – Режим 1 (рис. 2). Под термином «нагрузка» будем подразумевать момент двигателя.

На рис. 3 показано отношение средних квадратичных отклонений для мощности потерь (σ_p) и момента (σ_m) для равномерного и нормального законов распределения амплитуды в Режиме 1 ($a = 0,5$). Графики показаны для значений математического ожидания момента (E_m), равных 0 и M_N . Здесь и далее средние квадратичные отклонения даются в относительных единицах (о.е.), σ_m относительно M_N , σ_p относительно $\Delta P_{\Sigma N}$. Графики получены с использованием статистического эксперимента для 10^6 реализаций случайных величин в пакете MATLAB. Графики на рис. 3 свидетельствуют о том, что σ_p в общем случае (в о.е.) существенно отличается от σ_m . Особенно заметна разница

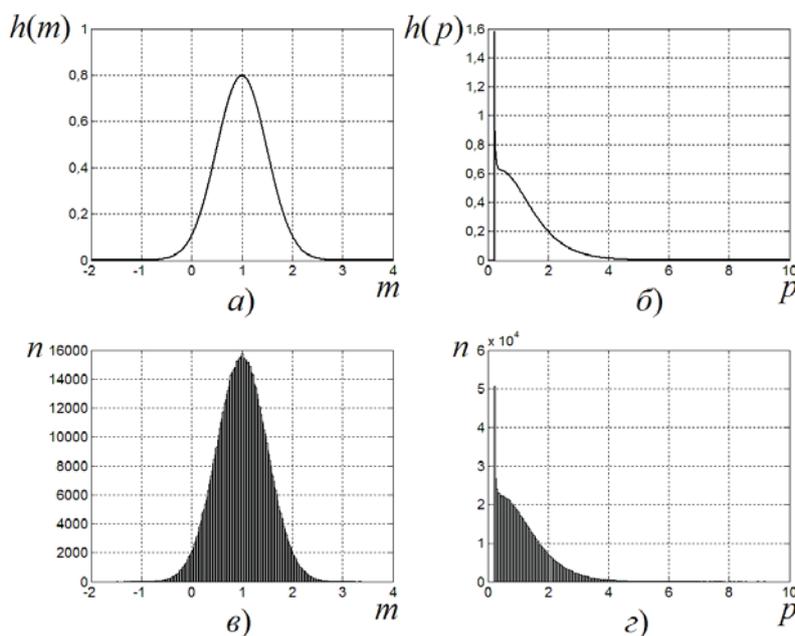


Рис. 1. Законы распределения вероятностей m и p для двигателя 4А100L

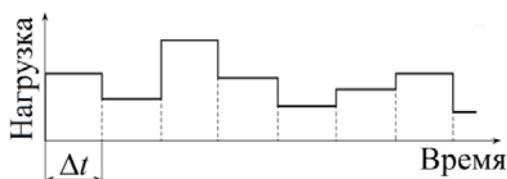


Рис. 2. Режим 1

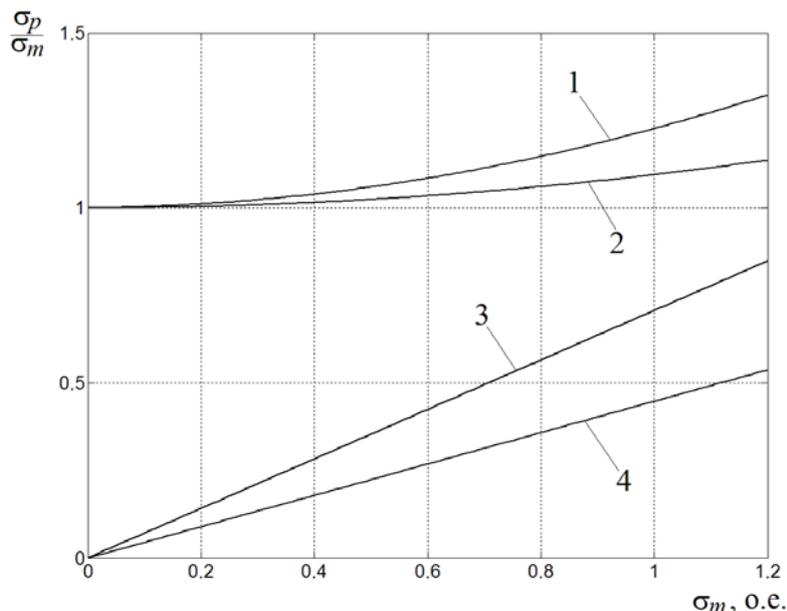


Рис. 3. Графики зависимостей $\sigma_p / \sigma_m = f(\sigma_m)$: 1, 3 – нормальный закон распределения; 2, 4 – равномерный закон распределения; 1 и 2 – $E_m = 1,0$; 3 и 4 – $E_m = 0$

для центрированных законов распределения момента ($E_m = 0$), где σ_p значительно меньше, чем σ_m .

1.3. Количественная оценка различий между математическими ожиданиями для нагрузки и мощности потерь

Рис. 4 показывает взаимосвязь между математическими ожиданиями мощности потерь и момента (в о.е.) для нормального закона распределения амплитуды момента в Режиме 1. Здесь видно, что E_p , в общем случае, может значительно отличаться от E_m , что определяется разницей между

выражениями для законов распределения (2) и (3). Разница может быть как в большую, так и в меньшую сторону.

2. Дисперсия амплитуды и дисперсия всего процесса

2.1. Взаимосвязь между параметрами законов распределения амплитуды и всего процесса нагружения

Рассмотрим процесс изменения величины u (в роли которой может выступать момент двигате-

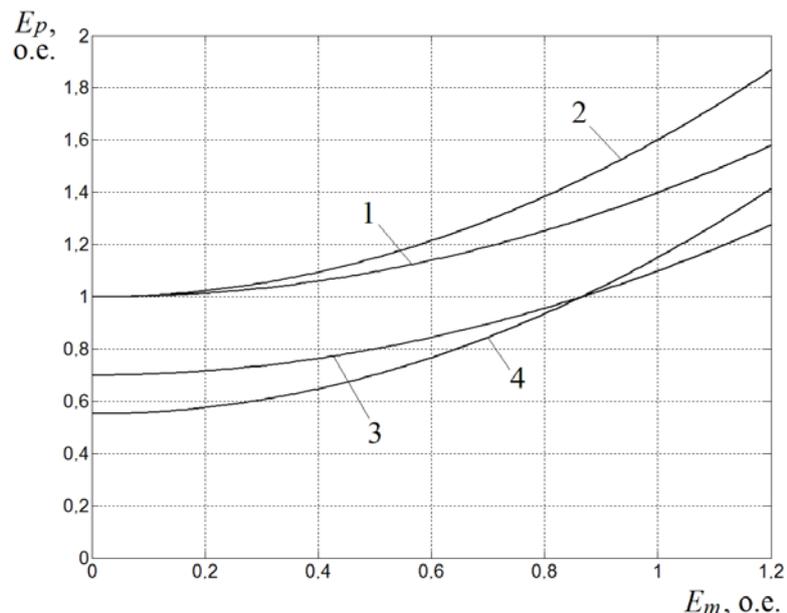


Рис. 4. Графики зависимостей $E_p = f(E_m)$: 1 – $\sigma_m = 1,0$ и $a = 0,4$; 2 – $\sigma_m = 1,0$ и $a = 0,6$; 3 – $\sigma_m = 0,5$ и $a = 0,4$; 4 – $\sigma_m = 0,5$ и $a = 0,6$

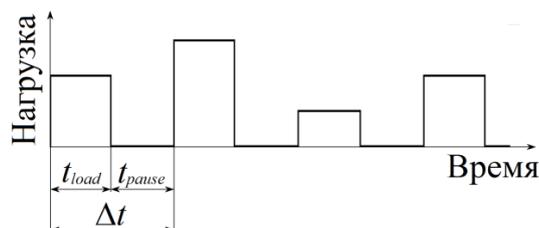


Рис. 5. Режим 2

ля или мощность потерь в нем), состоящий из прямоугольных импульсов и пауз. Примем, что продолжительность импульсов (t_{load}) остается неизменной, но случайным образом изменяется их амплитуда (y_A). Продолжительность пауз $t_{pause} = \text{const}$. Назовем это режим – Режим 2 (рис. 5).

Будем рассматривать последовательность из N таких циклов Δt , причем число N достаточно велико для того, чтобы принять математическое ожидание и дисперсию, определенные для этих N циклов, за математическое ожидание и дисперсию для всего процесса нагружения при $t \rightarrow \infty$. Тогда:

математическое ожидание амплитуды

$$E_{y_A} = N^{-1} \sum_{i=0}^N y_{Ai}; \quad (4)$$

математическое ожидание всего процесса

$$E_y = (t_{load} + t_{pause})^{-1} N^{-1} \sum_{i=0}^N y_{Ai} t_{load}. \quad (5)$$

Из (5) и (4) получим

$$E_y = \varepsilon E_{y_A}, \quad (6)$$

где $\varepsilon = t_{load} / (t_{load} + t_{pause})$ – продолжительность включения.

Дисперсия амплитуды

$$D_{y_A} = N^{-1} \sum_{i=0}^N (y_{Ai} - E_{y_A})^2. \quad (7)$$

Дисперсия для всего процесса

$$D_y = (t_{load} + t_{pause})^{-1} N^{-1} \left[\sum_{i=0}^N (y_{Ai} - E_y)^2 t_{load} + \sum_{i=0}^N (0 - E_y)^2 t_{pause} \right] = \varepsilon N^{-1} \left[\sum_{i=0}^N (y_{Ai} - E_{y_A})^2 + 2(y_{Ai} - E_{y_A})(E_{y_A} - E_y) + (E_{y_A} - E_y)^2 \right] + (1 - \varepsilon) E_y^2. \quad (8)$$

Поскольку $\sum_{i=0}^N (y_{Ai} - E_{y_A}) = 0$, из (8) и (7) получим

$$D_y = \varepsilon D_{y_A} + \varepsilon (E_{y_A} - E_y)^2 + (1 - \varepsilon) E_y^2. \quad (9)$$

Из (9), принимая во внимание (6), после некоторых преобразований можем записать

$$D_y = \varepsilon D_{y_A} + \varepsilon (1 - \varepsilon) E_{y_A}^2. \quad (10)$$

Исходя из выражения (10) нетрудно показать, что D_y совпадает с D_{y_A} только тогда, когда $\varepsilon = D_{y_A} / E_{y_A}^2$.

2.2. Количественная оценка различий между параметрами законов распределения амплитуды нагрузки и всего процесса нагружения

На рис. 6 показана зависимость отношения среднего квадратичного отклонения для процесса изменения величины y ($\sigma_y = \sqrt{D_y}$) к среднему квадратичному отклонению амплитуды процесса (σ_A) от продолжительности включения и математического ожидания амплитуды (поверхность построена при $\sigma_A = 0,5$). Как видно из рис. 6, разница между σ_y и σ_A может быть очень значительной.

3. Влияние ограничения момента двигателя на параметры закона распределения

3.1. Описание проблемы

Из центральной предельной теоремы теории вероятностей следует, что если некоторый эффект

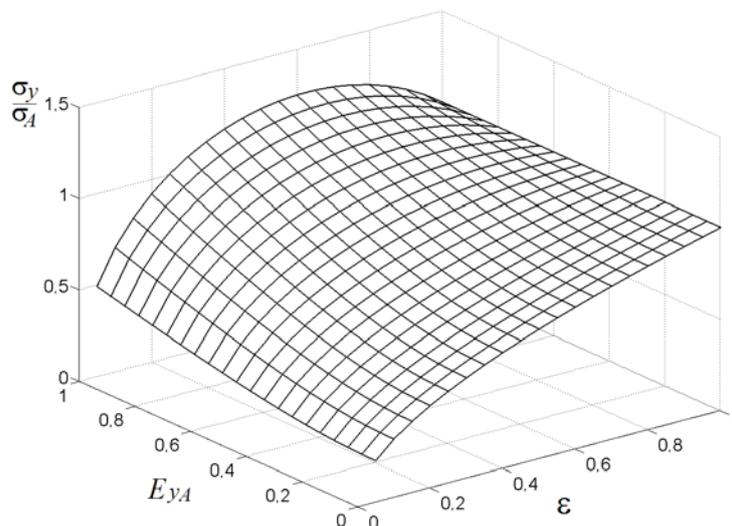


Рис. 6. Поверхность $\sigma_y / \sigma_A = f(\varepsilon, E_{y_A})$ при $\sigma_A = 0,5$ (в о.е.)

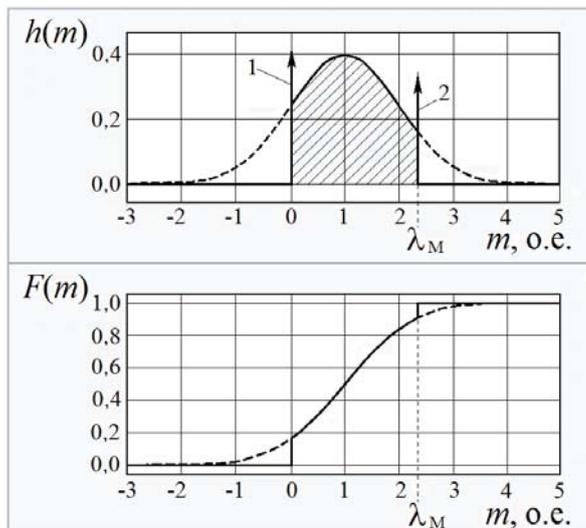


Рис. 7. Ограниченный и неограниченный законы распределения нагрузки: 1 – $\delta(m) \cdot S_1$, 2 – $\delta(m - m_{\max}) \cdot S_2$

является результатом действия суммы многих случайных факторов, то закон распределения величины, характеризующей этот эффект, при росте числа факторов будет стремиться к нормальному закону распределения. Как следствие, при исследовании случайных процессов нагружения электроприводов часто используют нормальный закон распределения вероятностей для аппроксимации гистограмм нагрузок [4]. Например, экспериментальные исследования показывают, что закон распределения нагрузок для электроприводов дорожных транспортных средств приближается к нормальному закону [5–8].

Нормальный закон распределения является неограниченным по отношению к величине нагрузки. В то же время реальный момент двигателя лимитирован значением, соответствующим его перегрузочной способности. Из-за ограничения момента появляется разница между идеальным и действительным закон его распределения. На рис. 7 показана функция плотности вероятностей для нормального закона распределения нагрузки $h(m)$ с математическим ожиданием, равным номинальному значению в о.е. ($E_m = 1,0$) и средним квадратичным отклонением, равным 1,0, а также соответствующая ей функция распределения $F(m)$. Будем считать, что эта функция $h(m)$ получена в результате математической обработки экспериментальных данных. Теперь предположим, что исходя из некоторых физических соображений, момент нагрузки не может иметь отрицательных значений, а величина момента двигателя ограничена на уровне $M_{\max} = \lambda_M M_N$ ($m_{\max} = \lambda_M$), где λ_M – перегрузочная способность двигателя. Тогда функция плотности вероятности для реального закона распределения момента двигателя будет соответствовать заштрихованной области на рис. 7. Поскольку полная вероятность, в любом случае, должна быть равна

единице, необходимо добавить следующие компоненты на границах заштрихованной области [2]: $\delta(m) \cdot S_1$ и $\delta(m - m_{\max}) \cdot S_2$, где $S_1 = \int_{-\infty}^0 h(m) dm$, $S_2 = \int_{m_{\max}}^{\infty} h(m) dm$; $\delta(m)$ и $\delta(m - m_{\max})$ – дельта-функции Дирака. На рис. 7 обозначено: пунктирная линия – закон распределения без ограничений момента, непрерывная линия – закон распределения при наличии ограничений момента.

3.2. Количественная оценка различий между ограниченным и неограниченным законами распределения

Рассмотрим случай, когда привод работает в Режиме 1 при нормальном законе распределения нагрузки с $E_m = 0$ с ограничениями момента, упомянутыми выше. На рис. 8 показаны графики отношения средних квадратичных отклонений при наличии ограничений момента ($\sigma_{m.lim}$ для момента и $\sigma_{p.lim}$ для мощности потерь) к средним квадратичным отклонениям без ограничений ($\sigma_{m.id}$ и $\sigma_{p.id}$). Пунктиром показаны кривые для случая, когда отсутствуют ограничения. Здесь можно видеть, что средние квадратичные отклонения при наличии ограничений могут очень существенно отличаться от таковых для идеализированного закона распределения. Эти различия возрастают с увеличением жесткости ограничений, для мощности потерь различия проявляются сильнее, чем для момента.

Таким образом, неограниченный закон распределения нагрузки и закон распределения с учетом ограничений, связанных с перегрузочной способностью двигателя – два разных закона с разными значениями параметров. При моделировании электроприводов этот факт необходимо принимать во внимание. Это особенно важно, когда мы рассматриваем связь между особенностями нагруже-

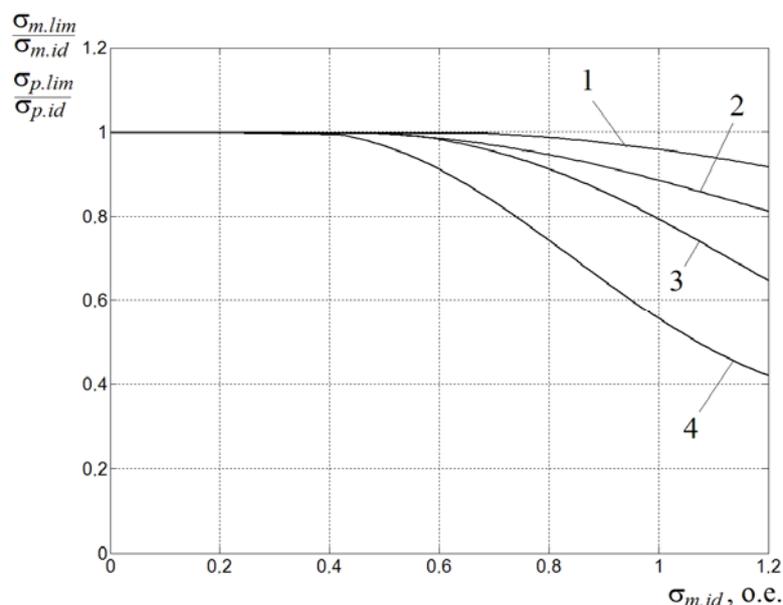


Рис. 8. Графики отношения средних квадратичных отклонений от $\sigma_{m.id}$:
 1 – $\sigma_{m.lim}/\sigma_{m.id}$ ($m_{max}=2,0$); 2 – $\sigma_{m.lim}/\sigma_{m.id}$ ($m_{max}=1,5$); 3 – $\sigma_{p.lim}/\sigma_{p.id}$ ($m_{max}=2,0$); 4 – $\sigma_{p.lim}/\sigma_{p.id}$ ($m_{max}=1,5$). Здесь $a=0,5$

ния электропривода и некоторыми параметрами, которые определяют надежность его функционирования. Например, исследования показывают [3, 9], что долговечность изоляции обмоток двигателя, при работе в режимах случайного нагружения, очень существенно зависит от дисперсии мощности потерь в двигателе. Эта дисперсия определяется параметрами реального закона распределения момента двигателя с учетом ограничений, а не идеализированным законом, параметры которого используется как входная информация при моделировании. Поэтому значения параметров, которые соответствуют реальному закону, должны рассчитываться непосредственно в ходе моделирования. Это заключение относится не только к нормальному закону распределения нагрузки, но и к любому другому, например, к закону распределения Вейбулла, который имеет неограниченную правую ветвь.

Заключение

Выполненные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

- Законы распределения вероятностей для мощности потерь и момента двигателя очень существенно отличаются друг от друга. Из этого следует, что при моделировании нельзя переносить закон распределения нагрузки, которая характеризуется моментом двигателя, на закон распределения мощности потерь в нем.

- Величина среднего квадратичного отклонения для всего процесса нагружения отличается от среднего квадратичного отклонения для амплитуды этого процесса, причем эта разница зависит от

продолжительности включения и математического ожидания амплитуды.

- Неограниченный закон распределения нагрузки и закон распределения с учетом ограниченный, связанных, например, с перегрузочной способностью двигателя – это два разных закона с разными значениями среднего квадратичного отклонения и математического ожидания.

Литература

1. Proakis, J.G. *Digital communications* / J.G. Proakis. – 4th ed. – Singapore: McGraw-Hill, 2001. – 1002 p.
2. Гоноровский, И.С. *Радиотехнические цепи и сигналы* / И.С. Гоноровский. – М.: Сов. радио, 1977. – 608 с.
3. *Toward the evaluation of the influence of temperature fluctuations on the durability of the stator winding insulation of asynchronous motors in random mode loading* / I.Ya. Braslavsky, V.P. Metelkov, D.V. Esaulkova et al. // 23rd Int. Symposium, Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM). – June 2016. – P. 447–451. DOI: 10.1109/SPEEDAM.2016.7525821.
4. Ратнер, Н.И. *Расчет электроприводов в случайных режимах* / Н.И. Ратнер. – М.: Энергия, 1969. – 127 с.
5. Гайдукевич, В.И. *Случайные нагрузки силовых электроприводов* / В.И. Гайдукевич, В.С. Туттов. – М.: Энергоатомиздат. – 1983. – 160 с.
6. Беспалов, В.Я. *Динамические показатели трехфазных асинхронных двигателей, включаемых в однофазную сеть* / В.Я. Беспалов, Ю.А. Моцинский, А.П. Петров // *Электротехника*. – 2000. – № 1. – С. 13–19.

7. Багаев, А.А. Статистические характеристики мощности электрического двигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов в случайном режиме / А.А. Багаев, Р.С. Черноусь // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10 (120). – С. 108–113.

8. Load distribution analysis of wheels-side electric drive system based on city driving cycles / J. Fang, S. Zheng, T. Chen, G. Liang // 2014 IEEE Transporta-

tion Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific 2014). – August/Sept. 2014. – P. 773–778. DOI: 10.1109/ITEC-AP.2014.6940768.

9. Some aspects of the reliability increasing of the transport electric drives / I.Ya. Braslavsky, V.P. Metelkov, S. Valtchev et al. // 2016 IEEE Int. Power Electronics and Motion Control Conf. (PEMC). – Sept. 2016. – P. 706–710. DOI: 10.1109/EPEPEMC.2016.7752080.

Браславский Исаак Яковлевич, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; i.ya.braslavskiy@urfu.ru.

Метельков Владимир Павлович, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; v.p.metelkov@urfu.ru.

Костылев Алексей Васильевич, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; a.v.kostylev@urfu.ru.

Есаулкова Дина Владимировна, старший преподаватель, кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; d.v.esaulkova@urfu.ru.

Поступила в редакцию 22 февраля 2017 г.

DOI: 10.14529/power170110

FEATURES OF ELECTRIC DRIVE SIMULATION AT RANDOM LOADING

I.Ya. Braslavskiy, i.ya.braslavskiy@urfu.ru,

V.P. Metelkov, v.p.metelkov@urfu.ru,

A.V. Kostylev, a.v.kostylev@urfu.ru,

D.V. Esaulkova, d.v.esaulkova@urfu.ru

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

Some features of the simulation of electric drives, working at random loading are considered in the article. It is shown that during the simulation of the electric drive at random modes it is impossible to transfer the motor load distribution law, which is characterized by the motor torque, onto the motor losses distribution law. It is also shown that the value of variance for the loading process may be significantly different from the variance for the amplitudes of this process, the difference can be either positive or negative depending on the cyclic duration factor and the mathematical expectation of the amplitude. The influence of the torque limitation on probability density functions of load and losses was considered. It was shown that the distribution law in the absence of torque limitation and the one accounting for the impact of this limitation are two different laws, which, in the general case, have different mathematical expectation and variance values.

Keywords: electric drive, simulation, random loading, probability distribution law, probability density function.

References

1. Proakis J.G. Digital Communications. 4th ed. Singapore: McGraw-Hill, 2001. 1002 p.
2. Gonorovsky I.S. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly [Radiotechnical Circuits and Signals]. Moscow: Sov. Radio Publ., 1977. 608 p.
3. Braslavsky I.Ya., Metelkov V.P., Esaulkova D.V., Kostylev A.V., Kondakov K.A. Toward the Evaluation of the Influence of Temperature Fluctuations on the Durability of the Stator Winding Insulation of Asynchronous

Motors in Random Mode Loading. *23rd Int. Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Anacapri, Italy, June 2016, pp. 447–451. DOI: 10.1109/SPEEDAM.2016.7525821.

4. Ratner N.I. *Raschet elektroprivodov v sluchaynykh rezhimakh* [Calculating Electric Drives in Random Mode]. Moscow, Energiya Publ., 1969. 127 p.

5. Gaidukevich V.I., Titov V.S. *Sluchaynye nagruzki silovykh elektroprivodov* [Random Load of Electrical Power Drive]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 160 p.

6. Bespalov V.Ya., Moshchinskiy Yu.A., Petrov A.P., [Dynamic Indices of Three-Phase Asynchronous Motor with Single-Phase Power Supply], *Elektrotehnika* [Electrical Engineering], 2000, no. 1, pp. 13–19 (in Russ.).

7. Bagayev A.A., Chernus R.S. [Statistical Power Characteristics of the Electric Motor of Centrifugal Flowmeter of Loose Agricultural Materials in Random Mode]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2014, no. 10 (120), pp. 108–113. (in Russ.)

8. Fang J., Zheng S., Chen T., Liang G. Load Distribution Analysis of Wheels-side Electric Drive System Based on City Driving Cycles. *2014 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific 2014)*, Beijing, China, August/Sept. 2014, pp. 773–778. DOI: 10.1109/ITEC-AP.2014.6940768.

9. Braslavsky I.Ya., Metelkov V.P., Valtchev S., Esaulkova D.V., Kostylev A.V., Kirillov A.V. Some Aspects of the Reliability Increasing of the Transport Electric Drives. *2016 IEEE Int. Power Electronics and Motion Control Conf. (PEPMC)*, Varna, Bulgaria, Sept 2016, pp. 706–710. DOI: 10.1109/EPEPMC.2016.7752080.

Received 22 February 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Об особенностях моделирования электроприводов при случайном характере нагружения / И.Я. Браславский, В.П. Метельков, А.В. Костылев, Д.В. Есаулкова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 69–76. DOI: 10.14529/power170110

FOR CITATION

Braslavskiy I.Ya., Metelkov V.P., Kostylev A.V., Esaulkova D.V. Features of Electric Drive Simulation at Random Loading. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 69–76. (in Russ.) DOI: 10.14529/power170110