

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Отрицательное влияние некачественной электроэнергии на эксплуатационные показатели электроустановок хорошо изучено [1, 2, 3]. Так известно, что при наличии искажений питающего напряжения особое внимание следует уделять системам электроприводов, поскольку это приводит к снижению их надежности и эффективности и, как следствие, к существенному снижению технико-экономических показателей многих производств. При снижении качества электроэнергии происходит увеличение потерь мощности в асинхронных двигателях (АД), что обуславливает их повышенный нагрев. А это, в свою очередь, способствует интенсивному старению изоляции и, в конечном итоге, ее пробое.

Внезапный отказ электродвигателя, находящегося в технологической линии, может также привести к значительному экономическому ущербу. Кроме того, высшие гармоники и несимметричные режимы обуславливают недоиспользование средств компенсации реактивной мощности (батарей конденсаторов и синхронных компенсаторов), что приводит к снижению коэффициента мощности предприятия. Кроме того, даже при существующих тарифах, существенно увеличивается оплата электроэнергии, являющаяся доминирующей составляющей в общей сумме капитальных и эксплуатационных затрат большинства используемого на производстве электрооборудования [4].

Так в течение года электромашинный преобразователь малой и средней мощности потребляет объем электроэнергии, которая в 3-5 раз дороже самого двигателя. Вместе с тем, до 75% электроэнергии на производстве потребляется именно АД такой мощности (до 75 кВт) [5]. Поэтому снижение КПД двигателя вследствие того, что он питается некачественной электроэнергией даже на один процент, означает существенный экономический ущерб для любого предприятия.

В настоящее время показатели качества электроэнергии (ПКЭ) в сетях промышленных предприятий, такие как уровень напряжения, его частота, симметрия и синусоидальность нормируются

ГОСТом [6]. Несмотря на это, как показано в [7], отдельные ПКЭ, например, коэффициенты гармонических составляющих, во многих случаях существенно превышают предельно-допустимые величины (ПДВ).

Исходя из вышеизложенного у инженерно-технического персонала предприятий возникает необходимость использования средств по снижению отрицательного влияния некачественной электроэнергии на энергоэффективность производства. Возможными путями решения этой проблемы являются: применение «индивидуальных» LC-фильтров [8] для защиты особо ответственных электроприводов; применение «групповых» устройств для компенсации влияния некачественности питающего напряжения на уровне цеха, таких как силовые активные выпрямители, с возможной их интеграцией в существующие преобразователи для регулируемого электропривода; подавление искажений питающего напряжения в местах их возникновения, т.е. защита сети от первопричины. Допускается и отказ от принятия каких-либо мер, не считаясь с существенным уменьшением ресурса двигателя.

Каждый из указанных вариантов характеризуется конкретными стоимостью внедрения и ожидаемым экономическим эффектом. Тем не менее, несмотря на актуальность рассматриваемой проблемы, в Украине до сих пор нет единой методики принятия экономически обоснованных решений по уменьшению отрицательного воздействия некачественной электроэнергии на энергоэффективность производства.

Решить указанную проблему предлагается с помощью вычислительных методов, реализуемых на модели, которая по текущим показателям качества электроэнергии, зависящим от характера и мощности подключаемых к сети электропотребителей, значениям технических параметров и стоимости рассматриваемой электромеханической системы, позволяет спрогнозировать величину суммарного ущерба от эксплуатации последней в конкретных условиях. При этом вычисляются также капитальные и текущие затраты

© Кузнецов В. В., 2014

на реализацию всех технически возможных в данном случае мер защиты. Затем величина ущерба сопоставляется с затратами, что и позволяет определить экономически наиболее целесообразную из рассмотренных мер.

Препятствием на пути реализации такого алгоритма является сложность оценки электромагнитной (энергетической), тепловой и технологической составляющих указанного ущерба в условиях меняющихся ПКЭ. При этом известно, что последняя из них зависит не только от стоимости используемого на предприятии оборудования и вероятностных характеристик отказов АД, но и от многих других факторов [1].

В целом же технологический ущерб, связанный с уменьшением производительности и снижением качества выпускаемой продукции, полностью определяется спецификой производства и подлежит, при необходимости его учета, оценке по индивидуальным методикам. Учитывая же, что наиболее распространенные приводы насосных, компрессорных и вентиляционных систем приводят обычно к незначительному технологическому ущербу, остановимся только на их рассмотрении.

Оценка же электромагнитной составляющей ущерба менее проблематична, поскольку она связана с расчетом стоимости дополнительно потребляемой двигателем электроэнергии. Но и в этом случае методики определения ущерба довольно противоречивы. Так в соответствии с наиболее распространенной из них [1] дополнительные мощности, потребляемые АД вследствие несимметрии питающего напряжения и несинусоидальности потребляемого тока, рассчитываются по следующим зависимостям:

$$\Delta P_{\text{нсим}} = 2,41 \cdot k_n^2 \cdot \Delta P_{\text{ном}} \cdot \varepsilon_2^2 \quad (1)$$

$$\Delta P_{\text{нсин}} = \Delta P_{\text{ном}} \cdot k_n^2 \sum_v \left(\frac{U_v^2}{v} \right) (\sqrt{v} + \sqrt{v \pm 1}), \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{ном}}$ - потери в электродвигателе при допустимых ПКЭ; k_n - кратность пускового тока; ε_2 - коэффициент обратной последовательности; U_v - напряжение v -й гармонической составляющей.

Здесь не учитывается то, что причиной увеличения потерь при питании электродвигателя несимметричной системой напряжений является наличие в токах составляющих не только обратной, но и нулевой (при соединении обмоток в треугольник) последовательности, не образующей вращающего момента. В то же время токи

этих последовательностей вызывают дополнительные нагрев обмоток и пульсации магнитного потока, которые приводят к потерям за счет перемагничивания стали магнитопроводов и вихревых токов в них. При этом считается, что при нормально допустимых значениях ПКЭ дополнительные потери равны нулю.

Известен и другой метод расчета энергетических параметров асинхронного электродвигателя при его работе в условиях некачественной электроэнергии [2, 8, 9], основой которого является модель АД, предполагающая использование произвольной формы питающее напряжение. В качестве примера на рис.1 приведено сопоставление результатов расчета электромагнитного ущерба от работы электродвигателя мощностью 45 кВт (асинхронный короткозамкнутый двигатель типа АИР 250М8, номинальное напряжение – 380 В, привод центробежного насоса), выполненного по формулам (1), (2) и на основе указанной модели.

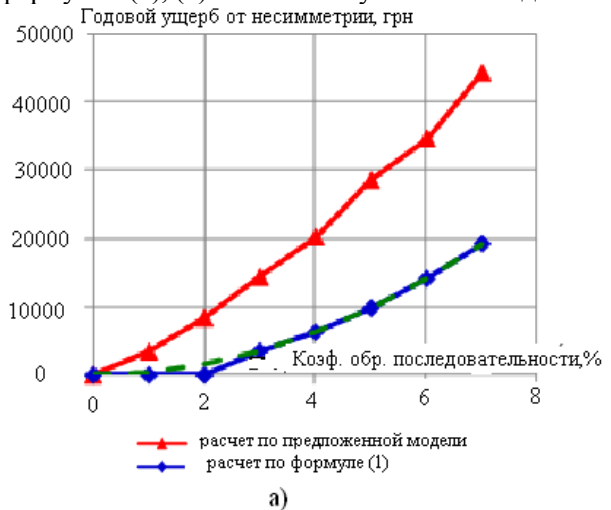


Рис. 1. Сопоставление электромагнитной составляющей ущерба, обусловленного несимметрией пита-

ющего напряжения (а) и его несинусоидальностью (б) для двигателя 45 кВт

Суть указанного подхода заключается в комбинированном использовании двух моделей: модели асинхронного двигателя, позволяющей рассчитать энергетические показатели АД в текущий момент времени при заданной форме питающего напряжения [2], и его динамической тепловой модели [10]. Основой последней является зависимость, позволяющая прогнозировать срок службы изоляции при периодически изменяющемся превышении температуры изоляции обмоток:

$$T = \Delta t \cdot \sum_{k=1}^M e^{-\beta \cdot \Delta \tau_k} \quad (3)$$

Здесь $\beta = \frac{\ln 2}{\Delta \theta}$; $M = \frac{T_H}{\Delta t}$, где T и T_H – сроки службы изоляции при заданной и допустимой температурах, соответственно; $\Delta \tau_k$ – превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды в k -м интервале времени Δt ; $\Delta \theta$ – коэффициент, зависящий от класса изоляции. Так, например, для изоляции класса F – $\Delta \theta = 10^\circ \text{C}$, для H – $\Delta \theta = 12^\circ \text{C}$ [11].

Очевидно, при отсутствии превышения допустимой температуры АД ($\Delta \tau_k = 0$) на всех временных участках $K = \overline{1, M}$ значение суммы в формуле (3) будет равно M , а $\Delta t \cdot M = T_H$, т.е. срок службы соответствует номинальному. Представленная методика апробирована экспериментально [12].

В результате получена совокупность программно-реализованных математических моделей, которую можно рассматривать как технико-экономическую модель двигателя, предназначенную для принятия решений о выборе средств защиты последнего от влияния некачественной электроэнергии.

Расчет технико-экономических показателей, связанных с применением указанных выше средств защиты АД, рассмотрен на примере упомянутого электродвигателя мощностью 45 кВт. Последний работает в длительном режиме (S1), годовой фонд его рабочего времени – 7200 часов, тариф на электроэнергию – 0,8232 грн/кВт*час, стоимость АД – 14,5 тыс. грн. Двигатель эксплуатируется в условиях некачественной электроэнергии: коэффициент искажения синусоидальности – 10% (нормально допустимое значение для сетей 0,4 кВ – 8%), коэффициент обратной последовательности –

3% (нормально допустимое значение – 2%). Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1

Пример сопоставления экономических показателей вариантов технических решений

Показатель	Ед. изм.	Варианты			
		1	2	3	4
Коэффициент искажения синусоидальности	%	10,0	0,1	4,0	1,5
Коэффициент обратной последовательности	%	3,0	0,1	0,1	3,0
Годовой ущерб, причиненный несинусоидальностью	тыс. грн	14,0	0,3	2,1	3,3
Годовой ущерб, причиненный несимметрией	тыс. грн	14,3	0,3	0,3	14,3
Ущерб от сокращения срока службы электродвигателя	тыс. грн	7,25	0,145	0,725	1,45
ИТОГО Суммарный ущерб	тыс. грн	35,6	0,8	3,2	19,1
Стоимость технического решения	тыс. грн	0	48,6	12,6	8,2
Срок окупаемости технического решения	тыс. грн	0	1,4	0,4	0,5

Примечания: 1 – отказ; 2 – активный фильтр; 3 – фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ) + симметрирующее устройство; 4 – индивидуальный LC-фильтр.

Анализ представленных данных указывает на значительную величину годового ущерба, вызванного эксплуатацией АД без применения средств защиты (вариант 1). Она практически втрое превышает стоимость самого двигателя. Последняя же соизмерима со стоимостью годовых ущербов по каждой составляющей в отдельности. Использование активных фильтров (вариант 2), цена которых сопоставима со стоимостью преобразователей частоты, является наиболее затратным, хотя последние имеют дополнительные существенные преимущества по сравнению с фильтрами. Несмотря на это срок окупаемости первого варианта является приемлемым.

Групповые методы коррекции ПКЭ (вариант 3), хотя и имеют большую суммарную стоимость ФКУ и симметрирующих устройств по сравнению со средствами индивидуальной защиты в виде LC – фильтров (вариант 4), обеспечивают наименьший срок окупаемости. В

© Кузнецов В. В., 2014

данном случае они являются экономически предпочтительными, хотя при других условиях эксплуатации рассматриваемого двигателя или для других типов и мощностей АД предпочтительными могут оказаться и другие варианты.

Вывод

Предложенная методика выбора средств защиты электродвигателя, работающего в усло-

виях некачественной электроэнергии, представляющая собой вычислительный алгоритм, реализованный на основе электромагнитной и тепловой модели АД, позволяет определить экономически целесообразный вариант их технически реализуемых решений. Она может использоваться как инструмент службы энергоменеджмента промышленного предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий [Текст] / И. В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат, 2000.
2. Качан Ю. Г. Реализация модели асинхронного двигателя для условий некачественного питания [Текст] / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Кузнецов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: – 2009. – № 3. – С. 56 – 58.
3. Качан Ю. Г. О технико-экономической целесообразности работы асинхронных двигателей в сетях с некачественной электроэнергией [Текст] / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Кузнецов // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – Вип. 80. – Дніпропетровськ: 2008. – С. 58 – 62.
4. United States Industrial Motor Systems Market Opportunities Assessment, report by Xenergy for Oak Ridge National Laboratory and the U.S. Department of Energy, 1998. – Режим доступу: www.oit.doe.gov/bestpractices/pdfs/mtrmkt.pdf.
5. Energy distribution annual report 2009, U.S. Department of Energy data storage and statistic service. – Режим доступу: www.doe.gov/stat/enreport 2009
6. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения: ГОСТ 13109-97. – ИПК. – М.: Изд-во стандартов, – 1998. – 15 с.
7. Качан Ю. Г. О количественной оценке качества электрической энергии в сетях промышленных предприятий [Текст] / Ю. Г. Качан А. В. Николенко, В. В. Кузнецов // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – Вип. 84. – Дніпропетровськ: – 2010. – С. 9 – 16.
8. Качан Ю. Г. О влиянии гармонического состава питающего напряжения на энергетические показатели асинхронного двигателя [Текст] / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Кузнецов // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – Вип. 83. – Дніпропетровськ: 2009. – С. 113 – 117.
9. Качан Ю. Г. Оценка адекватности математической модели асинхронного двигателя в условиях некачественного питания [Текст] / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Кузнецов // Інтегрований технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ «ХПІ», 2009. – № 3. – с. 70 – 74.
10. Качан Ю. Г. Тепловая составляющая эконо-

REFERENCES

1. Zhezhelenko I.V. Vyisshie harmoniki v sistemah elektrosnabzheniya prompredpriyatiy [The Highest Harmonics in Systems of Power Supply of Industrial Enterprises], 2000, Moscow, Russian Federation.
2. Kachan Yu.G., Nikolenko A.V., and Kuznetsov V.V. Realizatsiya modeli asinhronnogo dvigatelya dlya usloviy nekachestvennogo pitaniya [Realization of Model of Asynchronous Engine for the Terms of off-grade Feed], 2009, *Visnik Kremenchutskogo derzhavnogo politehnichnogo univrsitetu*, Kremenchug, Ukraine, No. 3, pp. 56 – 58.
3. Kachan Yu.G. O tehniko-ekonomicheskoy tselesoobraznosti raboty asinhronnyih dvigateley v setyah s nekachestvennoy elektroenergiy [About technique-economic Expediency of work of Asynchronous Engines in Networks with off-grade Electric Power], 2008, *Girnichia Elektromehanika ta Avtomatika: Nauk.-tehn. Zb.*, Dnipropetrovsk, Ukraine, Vip.80, pp. 58 – 62.
4. United States Industrial Motor Systems Market Opportunities Assessment, report by Xenergy for Oak Ridge National Laboratory and the U.S. Department of Energy, 1998. – Rezhim dostupu: www.oit.doe.gov/bestpractices/pdfs/mtrmkt.pdf.
5. Energy distribution annual report 2009, U.S. Department of Energy data storage and statistic service. – Rezhim dostupu: www.doe.gov/stat/enreport 2009.
6. Elektricheskaya energiya. Trebovaniya k kachestvu elektricheskoy energii v elektricheskikh setyah obshchego naznacheniya: GOST 13109-97 [Electric energy. Requirements to quality of electric energy in the electric networks of general-purpose], (1998), Moscow, Russian Federation.
7. Kachan Yu.G. O kolichestvennoy otsenke kachestva elektricheskoy energii v setyah promyshlennyih predpriyatiy [About the Quantitative Estimation of Quality of Electric Energy in the Networks of Industrial Enterprises], 2010 *Girnichia Elektromehanika ta Avtomatika: Nauk.-tehn. Zb.*, Dnipropetrovsk, Ukraine, Vip.84, pp. 9 – 16.
8. Kachan Yu.G. O vliyaniy garmonicheskogo sostava pitayushchego napryazheniya na energeticheskie pokazateli asinhronnogo dvigatelya [About Influence of Harmonic Composition of feed-in Tension on the Power Indexes of Asynchronous Engine], 2009, *Girnichia Elektromehanika ta Avtomatika: Nauk.-tehn. Zb.*, Dnipropetrovsk, Ukraine, Vip.83, pp.113 – 117.
9. Kachan Yu.G., Nikolenko A.V., and Kuznetsov

мического ущерба от работы асинхронного двигателя в условиях некачественной электроэнергии [Текст] / Ю.Г. Качан, А.В. Николенко, В.В. Кузнецов // *Гірничі електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб.* – Вип. 85. – Дніпропетровськ: 2010. – С.113 – 118.

11. Жежеленко И.В. Влияние качества электрической энергии на надежность асинхронных двигателей [Текст] / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко, А.В. Горпинич // *Промислова енергетика та електротехніка.* – Київ: 2004. – №1. – С.15 – 21.

12. Качан Ю.Г. Идентификация параметров и проверка адекватности тепловой модели асинхронного двигателя, работающего в условиях некачественной электроэнергии [Текст] / Ю.Г. Качан, А.В. Николенко, В.В. Кузнецов // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.* – Кременчук: 2011. – № 1. – С.56-59.

V.V. Otsenka adekvatnosti matematicheskoy modeli asinhronnogo dvigatelya v usloviyah nekachestvennogo pitaniya [Estimation of Adequacy of Mathematical Model of Asynchronous Engine in the Conditions of off-grade feed], 2009, *Integrovani Tehnologiyi ta Energo-zberezheniya. Shokvartalniy Naukovo-praktichniy Zhurnal*, No. 3, Kharkov, Ukraine, pp. 70 – 74.

10. Kachan Yu.G., Nikolenko A.V., and Kuznetsov V.V. Teplovaya sostavlyayushaya ekonomicheskogo uscherba ot raboty asinhronnogo dvigatelya v usloviyah nekachestvennoy elektroenergii [Thermal constituent of economic damage from work of asynchronous engine in the conditions of off-grade electric power], 2010, *Girnichia Elektromehnika ta Avtomatika: Nauk.-tehn. Zb.*, Dnipropetrovsk, Ukraine, Vip.85, pp.113 – 118.

11. Zhezhelenko I.V. Vliyanie kachestva elektricheskoy energii na nadezhnost asinhronnykh dvigateley [Influence of quality of electric energy on reliability of asynchronous engines], 2004, *Promislova energetika ta elektrotehnika*, Kyiv, Ukraine, No.1, pp.15 – 21.

12. Kachan Yu.G., Nikolenko A.V., and Kuznetsov V.V. Identifikatsiya parametrov i proverka adekvatnosti teplovoiy modeli asinhronnogo dvigatelya, rabotayushchego v usloviyah nekachestvennoy elektroenergii [Authentication of parameters and verification of adequacy of thermal model of asynchronous engine working in the conditions of off-grade electric power], 2011, *Visnik Kremenchutskogo derzhavnogo politehnichnogo universitetu*, Kremenchug, Ukraine, No. 1, pp. 56-59.

Поступила в печать 15.06.2014.

Внутренний рецензент *Гетьман Г. К.*

Внешний рецензент *Саенко Ю. Л.*

В статье рассмотрена методика обоснования технически возможных мер по повышению технико-экономических показателей асинхронного двигателя при его работе в условиях некачественной электроэнергии. Приведены расчетные алгоритмы для оценки электромагнитной и тепловой составляющих, образующегося при этом экономического ущерба. Выполнена апробация предложенной методики на конкретном примере. Анализ представленных данных указывает на значительную величину годового ущерба, вызванного эксплуатацией АД без применения средств защиты. Она практически втрое превышает стоимость самого двигателя. Последняя же соизмерима со стоимостью годовых ущербов по каждой составляющей в отдельности. Использование активных фильтров, цена которых сопоставима со стоимостью преобразователей частоты, является наиболее затратным, хотя последние имеют дополнительные существенные преимущества по сравнению с фильтрами. Несмотря на это срок окупаемости первого варианта является приемлемым. Групповые методы коррекции ПКЭ, хотя и имеют большую суммарную стоимость ФКУ и симметрирующих устройств по сравнению со средствами индивидуальной защиты в виде LC – фильтров, обеспечивают наименьший срок окупаемости. В данном случае они являются экономически предпочтительными, хотя при других условиях эксплуатации рассматриваемого двигателя или для других типов и мощностей АД предпочтительными могут оказаться и другие варианты. Предложенная методика выбора средств защиты электродвигателя, работающего в условиях некачественной электроэнергии, представляющая собой вычислительный алгоритм, реализованный на основе электромагнитной и тепловой модели АД, позволяет определить экономически целесообразный вариант их технически реализуемых решений. Она может использоваться как инструмент службы энергоменеджмента промышленного предприятия.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, показатели качества электроэнергии, электромагнитная и тепловая составляющие экономического ущерба.

УДК 621.31

В. В. КУЗНЕЦОВ (НМЕТАУ)

Кафедра електротехніки і електроприводу Національної металургійної академії України, пр. Гагаріна, 4, м. Дніпропетровськ, 49600, Україна, тел.: (056) 374-84-46, ел. пошта: wit_jane2000@mail.ru

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИБОРУ ЕКОНОМІЧНО ДОЦІЛЬНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ, ПРАЦЮЮЧИХ В УМОВАХ НЕЯКІСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

У статті розглянута методика обґрунтування технічно можливих заходів щодо підвищення техніко-економічних показників асинхронного двигуна при його роботі в умовах неякісної електроенергії. Наведено розрахункові алгоритми для оцінки електромагнітної і теплової складових, що утворюється при цьому економічного збитку. Виконана апробація запропонованої методики на конкретному прикладі. Аналіз представлених даних вказує на значну величину річного збитку, викликаного експлуатацією АД без застосування засобів захисту. Вона практично втричі перевищує вартість самого двигуна. Остання ж порівняння з вартістю річних збитків по кожній складовій окремо. Використання активних фільтрів, ціна яких порівнянна з вартістю перетворювачів частоти, є найбільш витратним, хоча останні мають додаткові істотні переваги в порівнянні з фільтрами. Незважаючи на це термін окупності першого варіанту є прийнятним. Групові методи корекції ПKE, хоча і мають велику сумарну вартість ФКУ і симетрувальних пристроїв в порівнянні з засобами індивідуального захисту у вигляді LC - фільтрів, забезпечують найменший термін окупності. В даному випадку вони є економічно кращими, хоча за інших умов експлуатації розглянутого двигуна або для інших типів і потужностей АД переважними можуть опинитися й інші варіанти. Запропонована методика вибору засобів захисту електродвигуна, що працює в умовах неякісної електроенергії, що представляє собою обчислювальний алгоритм, реалізований на основі електромагнітної і теплової моделі АД, дозволяє визначити економічно доцільний варіант їх технічно реалізованих рішень. Вона може використовуватися як інструмент служби енергоменеджменту промислового підприємства.

Ключові слова: асинхронний двигун, показники якості електроенергії, електромагнітна та тепла складові економічного збитку.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Саєнко Ю. Л.*

UDC 621.31

V. V. KUZNETSOV (NMETAU)

The department of electrical engineering and the National Metallurgical Academy of Ukraine, 4 Gagarina Ave, Dnepropetrovsk, 49600, Ukraine, tel.: (056) 374-84-46, e-mail: wit_jane2000@mail.ru

METHODOLOGICAL BASES OF CHOICE ECONOMICALLY AND EXPEDIENT FACILITIES OF DEFENCE OF ASYNCHRONOUS ENGINES, WORKING IN THE CONDITIONS OF OFF-GRADE ELECTRIC POWER

The article discusses the methodology of study is technically possible measures to improve the technical and economic parameters of the induction motor when it is operating in conditions of poor-quality electricity. The calculated algorithms to assess the electromagnetic and thermal components formed during this economic loss. Performed validation of the proposed method on a concrete example. Analysis of the data indicates a significant amount of the annual damage caused by the operation of blood pressure without the use of protective equipment. It is almost three times the cost of the engine. The latter is comparable to the cost of annual damages for each component separately. The use of active filters, the price of which is comparable with the value of frequency converters, is most costly, even though the latter have a further significant advantage over filters. Despite it's payback time the first option is acceptable. Group methods of correction of the SCE, although they have a greater total cost of PKU and baluns compared with the means of indi-term protection in the form of LC - filter, provide the lowest payback period. In this case, they are economically preferred, although other operating conditions of the engine under consideration, or for other types and capacities BP may be preferred and other embodiments. The proposed method of choice of means of protection of the motor, operating under conditions of poor-quality electricity, which is a computational algorithm is implemented on the basis of the electromagnetic and thermal model of AD to determine economically viable option for their technically feasible solutions. It can be used as an instrument of service energy management of an industrial enterprise.

Keywords: asynchronous engine, indicators of electric power quality, electromagnetic and thermal constituents of economic damage.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Saenko Y. L.*

© Кузнецов В. В., 2014