

УДК 621.313

А.Н. Савельев¹, М.В. Кипервассер¹, Д.С. Аниканов², В.Е. Реморов¹¹ Сибирский государственный индустриальный университет² ООО «ПНУ ОК «СПС»

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МАШИН ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ПРИВОДА

Аннотация. Рассмотрена методика контроля аварийных режимов конвейерного транспорта. Описан процесс преобразования энергии от питающей сети до механической работы двигателя. Показано наличие устойчивой связи величин электрических параметров двигателя с состоянием приводного механизма.

Ключевые слова: конвейер, методы и средства защиты, асинхронный электродвигатель, энергетические показатели.

ON THE USE OF THE METHOD OF MONITORING THE CONDITION OF MACHINERY TECHNOLOGICAL UNITS BY THE ENERGY PARAMETERS OF THE DRIVE

Abstract. The method of monitoring emergency operations of conveyor transport has been studied. The process of converting energy from the power supply to the mechanical operation of the engine has been described. The presence of a stable connection between the quantities of electrical parameters of the engine with the state of the drive mechanism has been shown.

Keywords: conveyor, methods and means of protection, induction motor, energy data.

Своевременное и точное определение места и характера повреждения технологического оборудования является важной задачей [1]. Существующие на сегодняшний день методы и средства защиты не могут в полной мере охватить весь спектр аварийных ситуаций, присущих технологическим установкам. Предложенная методика диагностики аварийных состояний механизма машины с помощью замера электрических параметров сопряженного с механизмом электродвигателя [1] позволяет контролировать общий уровень работоспособности машин. В настоящей работе делается оценка зависимости изменения электрических параметров электродвигателя от возникающих в механизме аварийных ситуаций.

Исходим из того, что механическую мощность привода, преобразованную из электрической, в электродви-

гателе можно выразить через параметры электрических цепей. В качестве конкретного объекта, на котором рассматривается этот вопрос, возьмем широко распространенный конвейерный транспорт с использованием в качестве приводного элемента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [2]. Широкое применение асинхронных двигателей обуславливается простотой их обслуживания в процессе эксплуатации, несложностью конструкции, малой стоимостью и высокой надежностью. В такого рода системах при преобразовании энергии присутствуют различного рода потери (рис. 1).

Процесс преобразования электрической энергии в механическую в асинхронной машине может быть описан уравнением баланса активной мощности. На основании закона сохранения энергии для двигательного режима работы можно записать [3]

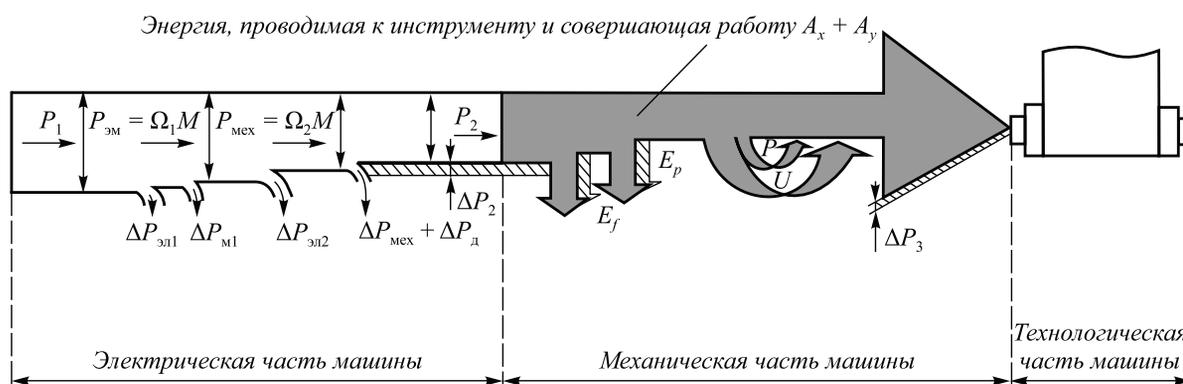


Рис. 1. Диаграмма энергетического баланса системы асинхронный двигатель – механическая часть машины – исполнительный механизм

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{эл1} + \Delta P_{эл2} + \Delta P_{м1} + \Delta P_{мех} + \Delta P_{д}, \quad (1)$$

где P_1 – электрическая мощность, потребляемая из сети; P_2 – полезная механическая мощность; $\Delta P_{эл1}$ и $\Delta P_{эл2}$ – потери мощности в обмотке статора и ротора; $\Delta P_{м1}$ – магнитные потери в пакете магнитного провода статора; $\Delta P_{мех}$ – механические потери; $\Delta P_{д}$ – добавочные потери.

Мощность на валу двигателя (P_2) в свою очередь определяется технологической мощностью P_3 конвейера и потерями ΔP_3 в механопроводе привода: $P_2 = P_3 - \Delta P_3$,

где $\Delta P_3 = E_1 + E_2 + \frac{dP}{dt} + \frac{dW}{dt}$ – потери, возникающие в механопроводе; здесь E_1, E_2 – потери мощности в механической части привода; dP/dt и dW/dt – изменения потенциальной энергии механической части привода и механизма.

Выход из строя элементов машины увеличивает значение потерь ΔP_3 . Выразим последние через электрические показатели и покажем наличие их однозначной связи, т.е. $\Delta P_3 = P_2 - P_3$; при этом будет иметь в виду, что с роторной обмотки у асинхронного двигателя снимать электрические характеристики трудно. В связи с этим в данном выражении могут фигурировать только электрические характеристики статора.

Применительно к асинхронному приводу математическое описание мощности P_2 на валу двигателя может быть записано с использованием классического математического описания электрической машины [3]:

$$P_2 = M\omega_2 = \frac{m_2 p}{\omega_1} E_{2н} I_2 \cos \psi_2 \omega_2, \quad (2)$$

где M – механический момент на валу ротора; ω_1 и ω_2 – синхронная скорость поля статора и скорость вращения ротора; m_2 – число фаз обмотки ротора; p – число пар полюсов; $E_{2н}$ – ЭДС неподвижного ротора; I_2 – фазный ток обмотки ротора; ψ_2 – угол сдвига фаз тока ротора и ЭДС.

Если в это уравнение подставить величину $E_{2н} = 4,44 f w_2 k_2 \Phi$, то получим следующее выражение момента:

$$P_2 = \frac{m_2 p}{\omega_1} 4,44 f w_2 k_2 \Phi I_2 \cos \psi_2 \omega_2, \quad (3)$$

где f – частота напряжения сети; w_2 – количество витков обмотки ротора; k_2 – обмоточный коэффициент ротора; Φ – постоянный магнитный поток в зазоре.

Активную составляющую первичного напряжения машины согласно данным работы [3] выразим как

$$U_1 \cos \phi_1 = I_1 R_1 + U \cos \psi_1, \quad (4)$$

где U_1 – напряжение статора; ϕ_1 – угол сдвига фаз между током и напряжением статора; U – модуль вектора ЭДС статора; ψ_1 – угол сдвига фаз между ЭДС и током статора; I_1 и R_1 – ток статора и его активное сопротивление.

Умножив левую и правую части уравнения (4) на параметр I_1 , получим выражение мощности, потребляе-

мой одной фазой двигателя, через потери мощности в медной обмотке статора и через мощность, передаваемую одной фазой вращающемуся полю:

$$U_1 I_1 \cos \phi_1 = I_1^2 R_1 + U I_1 \cos \psi_1. \quad (5)$$

Далее заменим $I_1 \cos \psi_1$ через соответствующие составляющие намагничивающего тока и приведенного тока ротора [3]:

$$I_1 \cos \psi_1 = I_0 \sin \alpha + I'_2 \cos \psi_2, \quad (6)$$

где I_0 – ток ветви намагничивания; α – угол магнитных потерь; I'_2 – приведенный ток ротора.

Подставив выражение (6) в уравнение (5), получим

$$U_1 I_1 \cos \phi_1 = I_1^2 R_1 + U I_0 \sin \alpha + U I'_2 \cos \psi_2.$$

Из полученного выражения следует, что

$$I'_2 \cos \psi_2 = \frac{U_1}{U} I_1 \cos \phi_1 - \frac{I_1^2 R_1}{U} - I_0 \sin \alpha; \quad (7)$$

здесь $I_0 \sin \alpha$ – произведение тока ветви намагничивания и синуса угла магнитных потерь – величина незначительная и в процессе работы остается практически неизменной.

Реальный ток ротора I_2 при известном значении приведенного тока I'_2 определится выражением [3]:

$$I_2 = I'_2 \frac{3 w_1 k_1}{m_2 w_2 k_2}, \quad (8)$$

в котором w_1 и w_2 – количество витков обмотки статора и ротора; k_1 – обмоточный коэффициент статора.

Тогда выражение (3) мощности на валу двигателя с учетом выражений (7) и (8) будет иметь вид [4]

$$P_2 = \frac{13,32 f \Phi w_1 k_1 \omega_2}{\omega_1} \left(\frac{U_1}{U} I_1 \cos \phi_1 - \frac{I_1^2 R_1}{U} - I_0 \sin \alpha \right).$$

Подставив выражение (8) в уравнение $\Delta P_3 = P_2 - P_3$, получим

$$\Delta P_3 = \frac{13,32 f \Phi w_1 k_1 \omega_2}{\omega_1} \times \left(\frac{U_1}{U} I_1 \cos \phi_1 - \frac{I_1^2 R_1}{U} - I_0 \sin \alpha \right) - P_3.$$

Зная постоянные $R_1, w_1, k_1, \Phi, \omega_1$ и практически не меняющую величину $I_0 \sin \alpha$, а также считая медленно меняющейся в рамках технологического процесса величину P_3 , можно контролировать изменение потерь мощности ΔP_3 через измерения параметров U_1, I_1 и $\cos \phi_1$.

Для оценки пригодности метода контроля аварийных ситуаций был исследован конвейерный механизм отгрузки угольного концентрата на закрытый склад

ОФ «Черниговская коксовая». Технологическая схема этого механизма приведена на рис. 2. Конвейер оснащен асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором (Type SK 180 LX/4 TF 50 Hz, 400/690 V, 42,6/24,6 A, 22 kW, 41,7 A, 25,3 kW, $\cos\phi = 0,82$, 1460 об/мин, $\cos\phi = 0,83$, 1760 об/мин). Питание двигателя осуществляется частотным преобразователем (Altivar 71). Одной из штатных опций преобразователя является возможность замера в текущем масштабе времени набора электрических параметров двигателя и передачи данных на сервер. Пример массива таких данных приведен ниже (параметры снимали 09.04.13 г.):

Время	I_1 , А	U_1 , В	P , %
8:00:07	16,70000076	365	15
8:00:08	16,79999924	365	14
8:00:09	16,89999962	365	15
8:00:10	16,89999962	365	14
8:00:11	16,89999962	365	14
8:00:12	16,89999962	364	14
8:00:12	17,00000000	364	14
8:00:13	17,00000000	365	14

В набор измеряемых параметров входят напряжение (U_1) и ток (I_1) статора, а также потребляемая активная мощность (P) в процентах от номинальной. Во время проведения эксперимента моделировался ряд аварийных ситуаций: расцепление муфты двигателя, рассоединение муфты редуктора, заклинивание одного ролика на грузонесущей ветви транспортера, увеличение размеров стыка транспортной ленты. Параметры двигателя фиксировали блоками информации объемом от нескольких секунд до нескольких минут. Повторялась запись блоков в каждом из опытов не менее 30 раз. Затем находилось математическое ожидание в каждом из блоков и в каждом из опытов в целом. Оценивалась устойчивость результатов замеров по критерию Фишера, который во всех опытах был меньше допустимого. Из таблицы видно, что активная мощность двигателя при работающем на холостом ходу конвейере составляет 3,08 кВт и расходуется на все виды потерь в двигателе, редукторе и собственно конвейере. При исправном состоянии всех узлов ее можно считать постоянной.

Моделирование процесса выхода из строя муфты двигателя показало, что потребление мощности

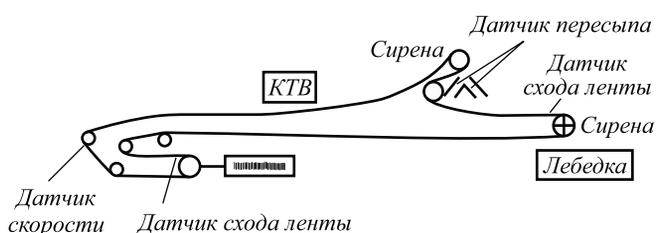


Рис. 2. Технологическая схема конвейерного механизма отгрузки угольного концентрата

Результаты замеров энергетических составляющих привода конвейера

Аварийные режимы	Опытные данные		
	I , А	U , В	P , кВт
<i>Электропривод с конвейером (без нагрузки)</i>			
–	16,80	359,0	3,08
<i>Загруженность конвейера 100 %</i>			
–	19,97	391,0	5,37
<i>Загруженность конвейера 50 %</i>			
–	20,10	392,0	4,18
<i>Моделируемые аварийные ситуации</i>			
Расцепление муфты двигателя	8,46	358,0	0,52
Расцепление муфты редуктора	14,32	358,2	0,74
Обрыв ленты	14,32	358,2	0,74
Заклинивание опорного ролика по грузонесущей ветви (без горной массы)	17,50	371,0	3,3
Заклинивание опорного ролика по грузонесущей ветви (с горной массой)	21,53	389,0	5,94
Наличие увеличенного стыка (прохождение стыка по головному барабану)	17,00	360,0	3,24

привода падает до минимально возможной величины 0,52 кВт. Мощность, потребляемая двигателем с редуктором, при разрушении муфты редуктора, составляет 0,74 кВт, что больше мощности, потребляемой конвейером при его работе без нагрузки. При заклинивании одного ролика также имеются индивидуальные значения изменения потребляемой мощности, по которым могут быть идентифицированы поломки. Аналогичным образом обстоит дело и с такой поломкой, как увеличение зазора в стыке ленты.

Выводы. Результаты эксперимента показывают наличие устойчивой связи электрических параметров двигателя с состоянием приводного механизма. При этом энергетические показатели для каждого из повреждений индивидуальны, что позволяет не только фиксировать факт, но и идентифицировать вид поломки оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Анников Д.С. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 37 – 41.
2. Большаков А.С. Углеобогатительные и брикетные фабрики. – Л.: Углетехиздат, 1982. – 240 с.
3. Касаткин А.С., Перекалин М.А. Электротехника. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1955. – 376 с.
4. Пугачев Е.В., Кипервассер М.В., Анников Д.С. // Вестник КузГТУ. 2013. № 3. С. 101 – 105.

© 2013 г. А.Н. Савельев, М.В. Кипервассер, Д.С. Анников, В.Е. Реморов
Поступила 27 сентября 2013 г.