

И. И. ПЕРЕСУНЬКО, асп., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»;
А. О. АНТОНЕНКО, асп., ГВУЗ «Криворожский национальный университет».

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА РАБОТУ АСИНХРОНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.

Введение. Обеспечение надёжности уровня электроснабжения реализуется, в том числе, за счёт поддержания показателей качества электроэнергии питающей сети на уровне значений, указанных в нормативных документах (ГОСТ). Для реализаций выше поставленной задачи необходимо обратить внимание на работу наиболее распространённых типов электрических двигателей в условиях конкретного железорудного комбината с учётом изменения значения показателей качества электроэнергии. В данном случае наиболее массовыми являются асинхронные электродвигатели.

Постановка задачи. Решение проблем электроснабжения горных предприятий является, обеспечения оптимальной надёжности в схемах, обеспечение электроприемников (ЭП) необходимым качеством питающего напряжения во всех режимах работы старого и нового горнотранспортного оборудования и, кроме того, используемая система электроснабжения должна быть экономически наиболее выгодна.

Материалы исследования. Использование электрической энергии определяется не только показателями качества электроэнергии питающей сети, но и заданным потреблением электроэнергии электротехническим оборудованием объектов нагрузки, а также их влиянием на качество электроэнергии.

Изменение потребления электроэнергии объектов нагрузки происходит непрерывно – включается и выключается технологическое оборудование, варьируется его потребляемая мощность – это обуславливает необходимость контроля над распределением электрической энергии и формированием нагрузки [1].

Проведённый анализ основных типов электрических приводов применяемых на железорудных комбинатах Украины показывает, что асинхронные двигатели занимают долю более трети всех эксплуатируемых двигателей, что показано на графике (рис.1).

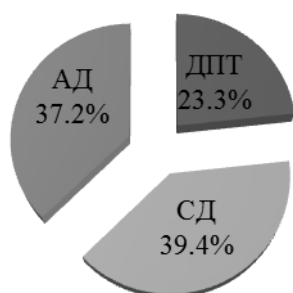


Рис.1 Диаграмма соотношений установленных мощностей по видам электрических двигателей. (ПАО « Криворожский железорудный комбинат » , 2014 год)

Актуальности вопроса влияния показателей качества электроэнергии (ПКЭ) на асинхронный электропривод подтверждается значительной распространённостью последнего.

Снижение качества электроэнергии приводит к отрицательным последствиям электрического и технического характера.

Среди них следует отметить:

- Увеличение потерь активной и реактивной мощности;
- Сокращение срока службы электрооборудования;
- Нарушение условий нормального функционирования электроприемников и потребителей в целом;
- Нанесение вреда окружающей среде и здоровью человека.

Для предотвращения таких последствий или их ограничения необходимо контролировать и управлять качеством электроэнергии [2].

Одним из основных, фиксируемым показателем КЭ является отклонение напряжения питающей сети от номинального значения, нормирование которого регламентируется ГОСТ 32144 – 2013[3].

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U_{(-)}$ и положительное $\delta U_{(+)}$ отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального согласованного значения, %:

$$\delta U_{(-)} = [(U_0 - U_{m(-)}) / U_0] \cdot 100; \quad (1)$$

$$\delta U_{(+)} = [(U_{m(+)} - U_0) / U_0] \cdot 100. \quad (2)$$

где $U_{m(+)}$, $U_{m(-)}$ - значения напряжения электропитания, меньшие U_0 и большие U_0 соответственно, усредненные в интервале времени 10 мин в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.12;

U_0 - напряжение, равное стандартному номинальному напряжению U_{nom} или согласованному напряжению U_c .

В электрических сетях низкого напряжения стандартное номинальное напряжение электропитания U_{nom} равно 220 В (между фазным и нейтральным проводниками для однофазных и четырехпроводных трехфазных систем) и 380 В (между фазными проводниками для трех и четырехпроводных трех фазных систем).

В электрических сетях среднего и высокого напряжений вместо значения номинального напряжения электропитания принимают согласованное напряжение электропитания U_c - согласованное напряжение электропитания, В, кВ.

Для указанных выше показателей КЭ установлены следующие нормы: положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального или согласованного значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Допустимые значения положительного и отрицательного отклонений напряжения в точках общего присоединения должны быть установлены сетевой организацией с учетом необходимости выполнения норм настоящего стандарта в точках передачи электрической энергии. [3]

В электрической сети потребителя должны быть обеспечены условия, при которых отклонения напряжения питания на зажимах электроприемников не превышают установленных для них допустимых значений при выполнении требований настоящего стандарта к КЭ в точке передачи электрической энергии.

Для определения отрицательного и положительного напряжения, % U_{din} измеряют среднеквадратические значения напряжения $U_{rms-200ms}$ на остальных интервалах времени (10/12 периодов).

Значение отрицательного отклонения напряжения $U_{rms_under_i}$ и положительного отклонения напряжения $U_{rms_over_i}$ в i - м основном интервале времени определяют с использованием выражений (3),(4),(5),(6). [4]

Для определения значения отрицательного отклонения напряжения в i - м основном интервале времени $U_{rms_under_i}$ применяют следующее правило:

$$\text{если } U_{rms200,i} > U_{din}, \text{ то } U_{rms_under,i} = U_{din}, \quad (3)$$

$$\text{если } U_{rms200,i} \leq U_{din}, \text{ то } U_{rms_under,i} = U_{rms200,i}. \quad (4)$$

где $U_{rms200,i}$ - результат измерения напряжения в i - м основном интервале времени.

Для определения значения положительного отклонения напряжения в i - м основном интервале времени $U_{rms_over_i}$ применяют следующее правило:

$$\text{если } U_{rms200,i} < U_{din}, \text{ то } U_{rms_over,i} = U_{din}, \quad (5)$$

$$\text{если } U_{rms200,i} \geq U_{din}, \text{ то } U_{rms_over,i} = U_{rms200,i}. \quad (6)$$

Значения отрицательного отклонения напряжения на объединенном интервале времени U_{under} , % U_{din} , определяют по формуле:

$$U_{under} = \frac{U_{din} - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_{rms_under,i}^2}{n}}}{U_{din}}, \quad (7)$$

где n - число основных интервалов времени в объединенном интервале.

Значения отрицательного отклонения напряжения на объединенном интервале времени U_{overs} , % U_{din} , определяют по формуле:

$$U_{over} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_{rms_over,i}^2}{n}} - U_{din}}{U_{din}}. \quad (8)$$

Каждый приемник электроэнергии имеет наилучшие технико – экономические показатели при определенном оптимальном напряжении на его зажимах. Отклонение напряжения от оптимального приводит к изменению технико – экономических показателей приемников электрической энергии. При изменении напряжения меняются также показатели самой сети, в основном за счет изменения потерь мощности и энергии. Таким образом, отклонения напряжения в отдельных точках сети оказывают влияние на всю систему электроснабжения предприятия.

В настоящее время наиболее распространенными приемниками электрической энергии в подземных выработках шахт горнорудной промышленности являются асинхронные двигатели, которые используются для привода самых разнообразных механизмов. В табл. 1 приведены данные по влиянию отклонений напряжения в пределах от – 10 % до + 10% на характеристики асинхронных электродвигателей.

Таблица 1 - Влияние отклонения напряжения в пределах от – 10 % до + 10% на характеристики асинхронных электродвигателей.

Характеристики двигателей	Изменение характеристики при изменении напряжения	
	– 10 %	+10 %
Пусковой и максимальный вращающий момент	– 19%	+ 21 %
Синхронная частота вращения		
Скольжение, %	+ 23 %	– 17 %
Частота вращения при номинальной нагрузке	– 1,5 %	+ 1 %
Коэффициент полезного действия:		
При номинальной нагрузке	– 2 %	+ 1 %
При нагрузке 75 %		
При нагрузке 50 %	– 1 % / – 2 %	+ 1% / + 2 %
Коэффициент мощности при нагрузке :		
100 %	+ 1 %	– 3 %
75 %	+ 2 % / + 3 %	– 4 %
50 %	+ 4 % / + 5 %	– 5 % / – 6 %
Ток ротора при номинальной нагрузке	+ 14 %	– 11 %
Ток статора при номинальной нагрузке	+ 10 %	– 7 %
Пусковой ток	+ 10 % / + 12%	– 10 % / – 12 %
Прирост температуры обмотки при номинальной нагрузке	+ 5 % / + 6 %	Практически без изменения

Рассмотрим влияние отклонений напряжения на работу асинхронного двигателя. Электромагнитный момент, создаваемый вращающимся полем статора АД, описывается функцией $M_3 = f(U)$ (рис.2). На этом рисунке приведена зависимость вращающего момента рабочего механизма $M_{мех}$ от его скорости вращения. Точка 1 соответствует работе двигателя при номинальной нагрузке, при этом скольжение равно $s_1 = s_{ном}$. При понижении напряжения, определяемого положением характеристики в точке 1, до напряжения, определяемого положением характеристик в точке 3 ($U_{ном} > U_2 > U_3$), скольжение увеличивается $s_{ном} < s_2 < s_3$, а электромагнитный момент снижается $M_{ном} > M_2 > M_3$, т.е. производительность механизма, приводимого во вращение электродвигателем, снижается. Запуск двигателя при пониженном напряжении, когда $s \rightarrow 1$, невозможен, так как $M_{эл} < M_{мех}$.

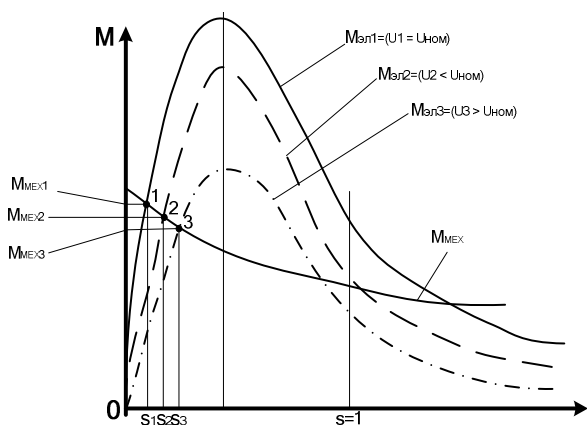


Рис. 2 Влияние изменений напряжения на электро-механические характеристики асинхронного двигателя

Известно, что при снижении напряжения на зажимах двигателя на 15% номинального его электромагнитный момент снижается до 72% номинального.

При уменьшении напряжения снижается амплитуда характеристик $M_{эл} = f(U)$, увеличивается его скольжение s и снижается скорость вращения. При остановке АД, например при глубоком провале напряжения, $s = 0,9 \div 1$, исключается возможность само запуска, что может быть очень необходимо для некоторых технологических процессов. Асинхронный двигатель не запускается в тех случаях, когда $M_{эл} < M_{мех}$. Уменьшение

коэффициента запаса устойчивости АД $K = M_{эл\ max} / M_{эл\ ном}$ может привести к его опрокидыванию при $K < 1$. При увеличении скольжения возрастает ток, что приводит к дополнительному нагреву АД. При длительном режиме работы при $U = 0,9U_{ном}$ срок службы АД сокращается вдвое.

При изменении напряжения сети по сравнению с номинальным активная мощность на валу асинхронного двигателя остается практически постоянной, однако изменяются потери активной мощности в нем, что может вызвать перерасход или получить экономию электрической энергии. Реактивная мощность при этом существенно меняется. Для приближенных расчетов можно принять, что для двигателей единой серии А мощность от 20-100 кВт повышение напряжения на 1% приводит к росту реактивной мощности на 3%, а для двигателей меньшей мощности на 5-7%.

Значительный ущерб промышленным предприятиям наносит сокращение срока службы асинхронных двигателей, работающих с большой нагрузкой и пониженным напряжением. Расчеты показывают, что наиболее выгодным с точки зрения увеличения срока службы двигателей является номинальное напряжение или напряжение выше номинального.

Частота вращения асинхронных двигателей меняется в зависимости от подведенного напряжения.

Вывод. Отклонение напряжения существенно влияет на работу асинхронного привода.

Необходимость проведения мероприятий по улучшению качества напряжения в электрических сетях. При отклонениях напряжения у приемников электроэнергии выше нормы целесообразно не устанавливать средства регулирования напряжения, которые увеличивают капитальные затраты на сеть и потери электроэнергии, а радикально перестроить систему электроснабжения, осуществить переход на более высокий уровень напряжения распределительных сетей. Повышение напряжения, как правило, улучшает технико-экономические показатели системы электроснабжения предприятия, одновременно улучшается и качество электроэнергии у потребителей.

Список литературы: 1. Жежеленко И.В. Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. / И.В. Жежеленко, Саенко Ю.Л. – М.: Энергоатомиздат, 2000 – 252 с. 2. Карташев И.И. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с. 3. ГОСТ 32144 – 2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ) – М. Стандартинформ 2014. – 20 с. 4. ГОСТ 30804.4.30 – 2013 (IEC 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. – М. Стандартинформ 2014. – 57 с.

Bibliography (transliterated): 1. Zhezhenko I. V. Saenko, Y. L. The power quality and control in industrial enterprises. / V. I. Zhezhenko, Saenko, Y. L. – М.: Energoatomizdat, 2000 – 252 p. 2. Kartashev I. I. Quality management of electricity / I. I. Kartashev, V. N. Tula, R. G. Simonov and others – М.: MPEI Publishing house, 2006. – 320 p. 3. GOST 32144 – 2013 Norms of quality of electric power supply systems of general purpose (to EN 50160:2010, NEQ). Standartinform 2014. – 20 p. 4. GOST 30804.4.30 – 2013 (IEC 61000-4-30:2008) Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Methods of measurement of indicators of quality of electric energy. – М. Standartenfuhrer 2014. – 57 p.

Поступила (received) 24.08.2015