

1. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. - М.: Энергоатомиздат, 2000. - 252 с.
2. Кузнецов В.Г., Григорьев А.С., Лысенко А.Т. Симметрично-компенсирующие устройства для изменяющихся несимметричных электротехнологических нагрузок // Промышленная энергетика. 1992. № 7-8. С.37-41.
3. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.
4. Качество электрической энергии горных предприятий: монография / Н.М. Кузнецов, Ю.В. Бебихов, А.В. Самсонов, А.Н. Егоров, А.С. Семенов. – М.: Издательский дом Российской Академии Естествознания, 2012. – 68 с.
5. Правила присоединения потребителя к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии // Промышленная энергетика 1991. №8. С.45-48.
6. Кузнецов Н.М., Семенов А.С. Система мониторинга показателей качества электроэнергии на горных предприятиях // Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах: сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. – С. 35-37.
7. Искажение формы питающего напряжения в сетях электроснабжения при наличии полупроводниковых преобразователей / А.Е. Козярук, Н.М. Кузнецов, О.В. Федоров, А.О. Свириденко // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. -№6. – С. 30-35.
8. Оценка работы фильтров в системах электроснабжения горнодобывающих предприятий по результатам контроля качества электроэнергии / А.Е. Карташев, В.Н. Тульский, Н.М. Кузнецов, М.Г. Симуткин, Р.Р. Насыров // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. - №7. – С. 16-19.
9. Проблемы установления ответственности за ухудшение качества электрической энергии и пути их решения / В. С. Соколов, М. А. Ермилов, А. В. Серков и др. - Промышленная энергетика, 2000, № 8.
10. Белоусов В. Н., Железко Ю. С. Отражение в договорах на электроснабжение вопросов качества электроэнергии и условий потребления и генерации реактивной энергии. — Промышленная энергетика, 1998, № 11.
11. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. М.: Энергоатомиздат, 1985.
12. Зыкин Ф.А. Определение степени участия нагрузок в снижении качества электроэнергии // Электричество. 1992. №11. С. 13-19.
13. Музиченко О.Д. Сучасний стан та шляхи встановлення відповідальності приймачів за погіршення якості електричної енергії // Технічна електродинаміка. 1998. №1. С. 61-65.
14. Птицын О.В. Аппаратные средства контроля качества электрической энергии // Промышленная энергетика. 1999. №5. С. 41-42.
15. Яценко А.А., Кошелева Д.Н., Овчинникова Г.М. Атлас технических предложений по обеспечению качества и эффективности преобразования энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий. Тольятти: Изд-во Тольяттинского политехнического института. 1990.

Рукопись поступила в редакцию 11.03.14

УДК 621.316

О.Н. СИНЧУК, д-р техн. наук, проф., И.И. ПЕРЕСУНЬКО, аспирант
Криворожский национальный университет

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ШАХТ И ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье приведен обзор существующих основных показателей электроэнергии на горнопромышленном предприятии. Цель работы показать, что существует проблема качества электроэнергии на шахтах что ведет к снижению энергоэффективности предприятия. И предложено решение проблемы 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.

Ключевые слова: отклонение напряжения, колебание напряжения, качество электрической энергий.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Основным решением проблемы электроснабжения горных предприятий является соблюдение безопасности, обеспечения оптимальной надежности в схемах, обеспечение электроприемников (ЭП) необходимым качеством питающего напряжения во всех режимах работы старого и нового горнотранспортного оборудования и, кроме того, утвержденная система электроснабжения должна быть экономически наиболее выгодна.

Наиболее эффективным решением проблемы является повышение качества напряжения для старого и нового горнотранспортного оборудования. Требуется 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.

Анализ исследований и публикаций. В литературе обсуждаются различные способы повышения качества питающего напряжения при основных показателях электроэнергии [1,2,6].

Были предложены различные решения по надежности электроснабжения в значительной степени зависят от качества электроэнергии ЭП [5,6]. В данной работе решаются вопросы оценки и улучшения показателей качества электроэнергии как при эксплуатации, так и на стадии проектирования систем электроснабжения горизонтов железорудных шахт.

Цель исследований. Возможность передачи большей мощности и лучшего качества напряжения по кабельным линиям меньшего сечения и снижении потерь электроэнергии при переходе на перспективные уровни напряжения для нового электрооборудования железорудных шахт.

Изложение материала и результаты. Качество электроснабжения определяется эксплуатационной надежностью и качеством электроэнергии в сетях. В то же время, как показывают результаты проведенных исследований, надежность электроснабжения в значительной степени зависит от качества электроэнергии у шахтных потребителей [1,3,4,6].

В данной работе решаются вопросы оценки и улучшения показателей качества электроэнергии как при эксплуатации, так и на стадии проектирования систем электроснабжения горизонтов железорудных шахт.

Качество электроэнергии оценивается рядом показателей [6]. Согласно к ним относятся отклонения и колебания - напряжения и частоты; несимметрия напряжения промышленной частоты и искажение синусоидальной формы кривой напряжения. Нормированные значения показателей качества электроэнергии не должны быть превышены с интегральной вероятностью $P_i > 0,95$.

Для заданных пределов изменения показателя последнее требование представляется в виде неравенства

$$P[x_{i \text{ мин}} \ll x_i \ll x_{i \text{ макс}}] \ll 0,95.$$

где x_i - значение рассматриваемого i -го показателя качества электрической энергии.

Наиболее распространенные электроприемники шахтного оборудования - асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, величина максимального момента которых прямопропорциональна квадрату напряжения и обратно пропорциональна квадрату частоты. При напряжении в шахтных сетях, отличном от номинального, кратность максимального момента определяется

$$b_i = b_n \frac{K_{U_i}^2}{K_f}$$

где K_{U_i}, K_f - кратность, соответственно, частоты и действующего значения напряжения к номинальному; b_n - кратность максимального перегрузочного момента.

Отклонение частоты: определяется алгебраической разностью фактическим и номинальным значениями частоты при медленных изменениях (приращениях)

$$\Delta f = \Delta f_{\text{ф}} - f_n \quad \text{или} \quad \Delta f\% = \frac{f_{\text{ф}} - f_n}{f_n}.$$

Допускают отклонение частоты в пределах $\pm 0,2\%$ ($+0,1$ Гц); временная работа систем допускается с изменениями частоты в энергосистеме $+0,4\%$ ($+0,2$ Гц). В системе электроснабжения возможны также кратковременные быстрые колебания частоты, которые не должны превышать $0,2$ Гц сверх допустимых значений частоты. В аварийном положении при резком снижении частоты предусматривается автоматическая частотная разгрузка (АЧР), отключающая менее ответственные потребители в порядке заранее усиленной очередности.

Шахтные потребители практически не могут влиять на регулирование частоты в системе, поэтому показатели качества частоты подлежат анализу и исследованиям при решении вопросов обеспечения надежности электроснабжения питающих сетей энергосистем. Остальные показатели качества электрической энергии зависят, главным образом, от индивидуальных осо-

бенностей ЭП, режима электропотребления, а также правильного выбора средств и законов регулирования.

С целью комплексного решения вопросов оптимизации электроснабжения подземных потребителей, на железорудных шахтах Кривбасса будут проведены исследования путем производства измерений каждого из показателей качества электроэнергии, главным образом, режимных показателей качества напряжения; изменения значений которых, в основном зависят от специфики работы электроприводов выемочно-доставочного и проходческого оборудования. При исследовании показателей качества напряжения также проанализированы причины, влияющие на: изменение указанных критериев оценки и их воздействие на работу шахтных электропотребителей.

Одним из важнейших режимных показателей качества напряжения, вызывающим наибольшее влияние на эффективность работы ЭП, является отклонение напряжения δU_i . В связи с этим при исследовании особое внимание уделяется анализу режимов напряжения, с выполнением конкретной задачи при проведении исследования δU_i - получением и обработкой информации.

Система электроснабжения железорудной шахты имеет большую разветвленность распределительных сетей, что затрудняет сбор необходимой информации. В этой связи существенным является выбор метода проведения экспериментальных исследований и правильность его технического обеспечения.

Отклонение напряжения. Под ним понимают медленное (статическое) изменение напряжения со скоростью менее 1 % в секунду, вызванное изменением нагрузки во времени. Оценивается отношением разности между фактическим напряжением сети U_c и номинальным напряжением к номинальному напряжению $U_{ном}$, выраженным в процентах

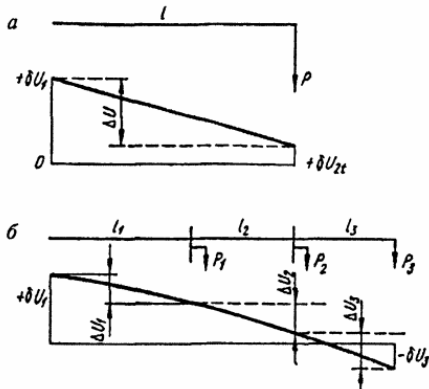
$$V = \frac{U_c - U_{ном}}{U_{ном}} 100.$$

Отклонение напряжения может быть положительным, если $U_c > U_{ном}$ и отрицательным, если $U_c < U_{ном}$.

Если известно отклонение напряжения в начале линии V_1 и потеря напряжения в линии ΔU , то отклонение в конце линии в момент времени t можно определить как (рис. 1)

$$U_{2t} = U_{1t} - \Delta U.$$

Рис. 1. Отклонение напряжения в конце линии: а - один участка; б - три участка



При n участков в сети отклонение напряжения в конце последнего участка, будет

$$V_{nt} = V_{1t} - \sum_1^n \Delta U_t.$$

На рис. 1б линия представлена тремя участками и отклонение напряжения V_{3t} , - отрицательное.

Если в сеть включены регулирующие устройства, то к отклонению напряжения в начале сети необходимо прибавить добавочные напряжения, создаваемые этими устройствами. Тогда отклонение в любой точке сети будет

$$V_{nt} = \sum V_t - \sum_1^n \Delta U_t$$

Колебание напряжения. Быстро протекающее кратковременное изменение напряжения (со скоростью более 1 % в сек) называют колебанием напряжения. Оно оценивается размахом и частотой изменения напряжения, а также интервалом времени между изменениями. Размах изменения напряжения δU (рис. 2) определяется разностью между следующими друг за другом наибольшими U_{max} и наименьшими U_{min} действующими значениями напряжения т.е.

$$\delta U = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{ном}} 100.$$

Другой оценкой колебания напряжения служат частота изменения напряжения

$$F = \frac{m}{T} \left(\frac{1}{c}; \frac{1}{\text{МИН}}; \frac{1}{\text{У}} \right)$$

где m - количество изменений напряжения со скоростью изменения более 1 % в сек за время T и интервал Δt (рис. 3) между следующими друг за другом изменениями напряжения.

Колебания напряжения дополнительно можно оценить *глубиной провала* напряжения по формуле

$$\delta U_{\text{п}} = \frac{U_{\text{НОМ}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{НОМ}}} 100.$$

где U_{min} - минимальное действующее напряжение в течение провала напряжения.

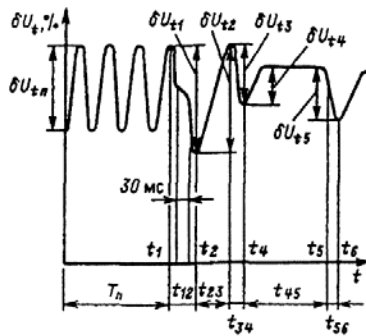


Рис. 2. Размах изменения напряжения

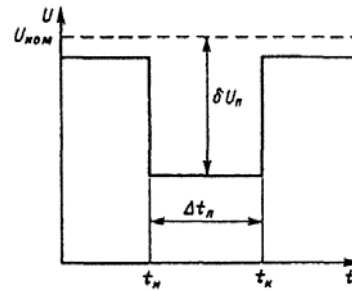


Рис. 3. Глубина провала напряжения

Устанавливаемый допустимый диапазон отклонений напряжения, не должны выходить за пределы -5% , $+10\%$ у электродвигателей и аппаратов их пуска и управления. Для электрических ламп и прожекторных установок повышение напряжения не должно быть более $+5\%$, а снижение не более $-2,5\%$ для внутреннего освещения предприятий и не более -5% для освещения жилых домов, На зажимах остальных ЭП допускаются отклонения напряжения в пределах $\pm 5\%$ номинального [6,7].

Указанные нормативы основаны на опыте развития электроэнергетики многих стран и являются компромиссными границами оптимальности режима напряжения для сети и совокупности ЭП.

По результатам ряда работ установлено, что для большинства ЭП и питающей сети более экономичны отрицательные, а не положительные отклонения напряжения (в пределах норм). Например, в США “благоприятный” диапазон δU равен $+4\%$, -8% .

Верхнее предельное значение напряжения ограничивается, величиной, при которой у ближайших потребителей обеспечивается напряжение не выше максимально - допустимых уровней на протяжении всех суток, а у остальных потребителей - ниже максимально допустимых. Нижнее предельное значение напряжения, при котором у самых удаленных потребителей на протяжении исследуемого периода напряжение не ниже минимально допустимых уровней, а у остальных - выше него.

В соответствии с установленными нормативами на границах раздела с потребителями при смешанной силовой и осветительной нагрузке допускаются отклонения напряжения в пределах $-2,5\%$, $+5\%$ номинального.

Для поддержания оптимальных уровней напряжения на подстанции задаются графики предельных значений напряжения для контрольных точек с периодической проверкой не реже раза в квартал. Верхний предел рабочего напряжения определяется допустимым напряжением на оборудовании подстанций. При этом допустимым напряжением по условиям изоляции является: для шин 35 кВ - величина напряжения 40,5 кВ, и для шин 6 кВ - напряжение 6,9 кВ.

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 влияния отклонений напряжения в пределах от -10 % до +10% на характеристик V_{nt} и асинхронных электродвигателей.

Таблица 1

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

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 загрузкой 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 осветительных установок. От подведенного напряжения зависят световой поток, освещенность, срок службы, потребляемая мощность и КПД осветительных приемников электрической энергии.

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 электропитания, осуществить переход на более высокий уровень напряжения распределительных сетей. Повышение напряжения, как правило, улучшает технико-экономические показатели системы электропитания предприятия, одновременно улучшается и качество электроэнергии у потребителей.

Список литературы

1. Беляк В.Л., Плащанский Л.А. Увеличение напряжения участковых сетей как способ повышения эффективности использования горных машин в высоконагруженных забоях угольных шахт М.: Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ - 2007 - № 9 - С. 286-290.
2. Железко Ю.С. Качество электроэнергии в сетях и электромагнитная совместимость оборудования / Ю.С. Железко // Электротехника. 1989. — №10 -с. 73-77.

3. **Нефедова, Н.В.** Улучшение качества напряжения в подземных распределительных сетях 6 кВ калийных рудников установками продольной компенсации потерь напряжения / **Н.В. Нефедова** и др. // М.: Энергетика. 1979. -324 с.
4. **Кронгауз, Д.Э.** Повышение качества электроэнергии в городских распределительных сетях посредством управления режимами реактивной мощности / Д.Э. Кронгауз // Промышленная энергетика. 2010. - № 10. - С. 39 - 43 .
5. **Плащанский Л.А.** Основы электроснабжения горных предприятий М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006 г. — 499 с: ил. : Учебник для вузов. — 2-е изд., исправ.
6. **Плащанский Л.А., Беляк В.Л.** Анализ технологических схем с целью рационального электроснабжения участков угольных шахт при напряжении 3 (3,3) кВ// М.: Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ - 2007 - № 6 - С. 238-241

Рукопись поступила в редакцию 03.03.14

УДК 658.8: 622.8: 331.453

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., И.О. СИНЧУК, канд. техн. наук, доц.,
А.А. ХАРИТОНОВ, старший преподаватель, Криворожский национальный университет

К ВОПРОСУ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ПРИЧИН ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА В УСЛОВИЯХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье проведено анализирование и оценивание причин электротравматизма электротехнического и неэлектротехнического персонала в условиях железорудных производств. Приведены такие данные исследований, как динамика колебаний уровней электротравматизма на отечественных железорудных шахтах; тенденции электротравматизма по виду работ, связанных и не связанных с обслуживанием электроустановок на железорудных предприятиях; гистограмма распределения вероятностей травмирования электрическим током электротехнического и неэлектротехнического персонала железорудных производств; пример диаграммы причинно-следственных связей. Представлена структура возникновения травмоопасных факторов в системе «человек - горнорудное производство - электротехнические комплексы». Для рассматриваемого несчастного случая и построенных причинных диаграмм получены структурные уравнения, анализ которых позволил сделать вывод о выходных величинах на основании информации о входных, оценку состояния электротравматизма позволяющую, наряду с оценкой динамики, условий, очагов, обстоятельств несчастных случаев, получить причинно-следственную модель процесса электротравмирования, необходимую для принятия управляющих решений по обеспечению безопасности процесса электропотребления при ведении работ в подземных горных выработках.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Вопросы совершенствования системы строения организации безопасных условий труда вообще и в горно-металлургической отрасли в нынешних условиях весьма актуальны и требуют пристально-постоянного внимания к себе в том числе и, что весьма важно, в направлении мониторинга ситуаций и контроля действенности функционирования системы анализа произошедших несчастных случаев (НС) [1-3].

Анализ исследований и публикаций. Вышеизложенное в полной мере относится и к электробезопасности. Особенно на предприятиях с подземным способом ведения горных работ, в том числе железорудным шахтам (рудникам) [1]. Здесь, как известно, наиболее опасным по уровню поражений и их последствий является контактный провод (КП) тяговой контактной сети электровозной откатки. Около 40% от общего количества всех электротравм произошедших в подземных горных выработках рудных шахт это электротравмы полученные при несанкционированном, но реально возможным по технологии ведения горных работ, касании горнорабочими КП. Немаловажен для раскрытия этой проблемы в дальнейшем тот факт, что, как правило, за редким исключением, все случаи поражения электрическим током при касании КП были получены горнорабочими, чья работа не связана на прясую с эксплуатацией и обслуживанием комплекса внутришахтного транспорта (ВШТ).

Цель исследований. Идентификация и классификация причин электротравматизма в железорудных шахтах для дальнейшей разработки системы управляющих решений, направленной на разработку профилактических мероприятий по устранению потенциальных опасностей в системе «человек – железорудное производство – электротехнические комплексы».

Изложение материала и результаты. Динамика электротравматизма на железорудных шахтах представлена на рис.1, анализ которого показывает, что имеется тенденция роста общего электротравматизма (ЭТ) и близкая к стабильности тенденция смертельного электротравматизма и коэффициента тяжести.