

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.10.2.005

УДК 621.31

© В.А. Бойко, 2019

В.А. БОЙКО

заведующий лабораторией

АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово

e-mail: v.boyko@nc-vostnii.ru



НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КУЗБАССА И УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

В статье рассматривается проблема повышения надежности электроснабжения и устойчивости электротехнических систем к кратковременным нарушениям электроснабжения. Значительное внимание уделяется мероприятиям по повышению устойчивости электротехнических систем угольных предприятий Кузбасса. Реализация таких мероприятий будет способствовать решению вопроса о сохранении параметров надежного электроснабжения угольных предприятий на высоком уровне, а также более полному использованию существующего запаса устойчивости систем электроснабжения, что, тем самым, обеспечит повышение безопасности ведения горных работ.

Ключевые слова: НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ПЕРЕРЫВЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.

Введение

В настоящее время кратковременные нарушения электроснабжения предприятий угольной промышленности являются одной из значимых причин нарушения стабильной работы нормальных режимов их электротехнических систем. Они происходят с недопустимо высокой периодичностью и постоянством (рис. 1). Последствием таких кратковременных нарушений электроснабжения, как правило, являются аварийные остановки технологических процессов на угледобывающих компаниях, предприятия которых характеризуются высокими требованиями к непрерывности, качеству и надежности электроснабжения.

Очевидно, в случае дестабилизации электротехнических систем на предприятиях, за-

нимающихся угледобычей, происходят аварийные перерывы технологических процессов, что, в свою очередь, приводит к существенным экономическим убыткам. Помимо этого, аварийные остановки увеличивают риск возникновения пожаро- и взрывоопасной обстановки, которая может стать причиной гибели людей, нарушения экологической ситуации и разрушения самого предприятия. Это происходит вследствие того, что подземная угледобыча сопряжена с разработкой глубоко залегающих угольных пластов, их газообильностью.

Кроме того, аварийные остановки технологического производства на предприятиях Кузбасса, занимающихся угледобычей, и его послеаварийное возобновление становятся причиной быстрого износа технологического и электротехнического оборудования. Учесть



Рис. 1. Статистика аварийных отключений за период 2014-2018 гг.

убытки, возникающие в случае подобных ситуаций, представляется затруднительным, но исключать этот фактор нельзя. Из всего перечисленного следует сделать вывод о том, что необходимо повышать уровень устойчивости электротехнических систем к непродолжительным сбоям электроснабжения на угледобывающих предприятиях, успешная работа которых обеспечивает уверенное экономическое развитие региона и страны в целом.

Общие вопросы устойчивости уже изучались многими исследователями. Нами проанализированы работы по вопросу надёжности электроснабжения, проведённые специалистами ОАО «СИБУР Холдинг» М.С. Ершовым, А.В. Егоровым, В.А. Анцифоровым, А.В. Суржиковым [1, 2, 3, 4, 5, 6]. В настоящее время разработаны и успешно применяются специализированные программные продукты, которые способны анализировать полученные ранее результаты, уточнять и расширять представление о сложившейся ситуации в рассматриваемой области [3]. При этом есть одна проблема – существует дефицит необходимой информации о действительном состоянии надёжности электрических сетей как в энергоснабжающих организациях, так и у их потребителей I категории надёжности на опасном производственном объекте в совокупности.

Для достижения поставленной цели повышения устойчивой надёжности внешних и внутренних электротехнических систем электроснабжения угольных предприятий необходимо решить следующие задачи:

1. Провести технический аудит и проанализировать полученные результаты исследований действительного состояния надёжности электрических сетей как электроснабжающих организаций, так и их потребителей в лице угледобывающих предприятий Кузбасса.

2. Проанализировать существующую нормативно-техническую документацию в сфере надёжности электроснабжения, уровень ее применимости для оценки зависимости питающих вводов, провести сравнительный анализ всех существующих и используемых на практике методов оценки зависимости питающих вводов для обоснования их применения при различном наборе исходных данных [7].

3. По итогам технического аудита разработать систему мероприятий, направленных на повышение уровня надёжности внешних и внутренних сетей электроснабжения и параметров устойчивости работы электротехнических систем угольных предприятий, с целью их последующего применения как на этапах проектирования и модернизации, так

и при эксплуатации конкретного электрооборудования.

Все предлагаемые мероприятия, направленные на повышение устойчивости электротехнических систем к кратковременным нарушениям электроснабжения, можно условно разделить на две группы: организационно-технические, которые не предполагают существенных капиталовложений, и инвестиционные мероприятия, связанные со значительными финансовыми затратами, требующие замены устаревшего электрооборудования [4].

Одним из примеров организационно-технических мероприятий является изменение уставок срабатывания защиты минимального напряжения узлов электрической нагрузки энергоустановок шахт [2]. Заключается оно в обоснованном снижении уровня минимально допустимого напряжения и увеличении выдержки времени срабатывания защиты минимального напряжения. По своей сути, данное мероприятие в большей степени направлено не на повышение устойчивости электротехнических систем, а на снижение числа необоснованных отключений основного электрооборудования шахты. Это обусловлено тем, что защита минимального напряжения характеризуется двумя параметрами – напряжением и выдержкой времени срабатывания, которые в большинстве случаев не учитывают реального состава и характеристик электроустановки, а устанавливаются по требованиям энергоснабжающей организации, исходя из параметров наиболее вероятного режима работы электрооборудования. Поэтому такое техническое решение не позволяет полностью использовать существующий запас устойчивости электротехнической системы, а лишь способствует возникновению зоны необоснованных отключений [2].

Корректировка уставок защиты минимального напряжения должна быть направлена на уменьшение площади областей необоснованных отключений, что, конечно же, будет способствовать снижению числа таких отключений и, соответственно, повысит эффективности функционирования электроу-

становок предприятия в целом [5].

Необходимо отметить, что в настоящее время на электроустановках угольных предприятий широко применяются микропроцессорные терминалы релейных защит, реализующие функцию свободно программируемого логического контроллера [4]. Данная функция терминалов защит позволяет использовать математическую модель устойчивости защищаемого узла нагрузки, а также в режиме реального времени вычислять текущую границу динамической и статической устойчивости этого узла. При этом автоматически корректируются уставки срабатывания защиты минимального напряжения при полном исключении области необоснованных отключений. Такой алгоритм автоматического изменения уставок защиты минимального напряжения на шахте и диапазон этих изменений должны найти своё отражение в существующей карте селективности релейной защиты угольного предприятия и в обязательном порядке получить согласование энергоснабжающей (сетевой) организации, к сетям которой подключено оборудование потребителя. Пока приходится констатировать о формальном подходе на угледобывающих предприятиях к установленному порядку [4].

Следующим, с нашей точки зрения, организационно-техническим мероприятием по повышению устойчивости электротехнических систем угольных предприятий является реконструкция системы внешнего электроснабжения, в части уменьшения её эквивалентного сопротивления, что всегда положительно влияет на параметры устойчивости. Хотя многие относят его к довольно затратному инвестиционному мероприятию. Как правило, уменьшение входного сопротивления достигается путем увеличения числа и мощности системообразующих связей. Это не означает, что необходимо дополнительное строительство новых линий электропередачи – в ряде случаев бывает достаточно изменить нормальное положение секционных и линейных выключателей, что, разумеется, несопоставимо по затратам.

Одним из факторов, который затрудняет

осуществление мероприятий, проводимых с целью увеличения устойчивости электротехнических систем угольных предприятий и ограничивающих их возможности, является нежелательное увеличение числа связей энергосистемы, питающей шахту [3]. Речь идет о том, что рост числа системообразующих связей и их мощности способствует возрастанию коэффициента зависимости источников питания шахты, что приводит к повыше-

нию вероятности одновременного влияния внешнего возмущения, в том числе и критического по соображениям устойчивости, на весь подключенный к такой энергосистеме технологический комплекс угледобывающих предприятий. Таким образом, данный путь повышения устойчивости сам по себе не может гарантировать снижения числа аварийных перерывов технологических процессов.

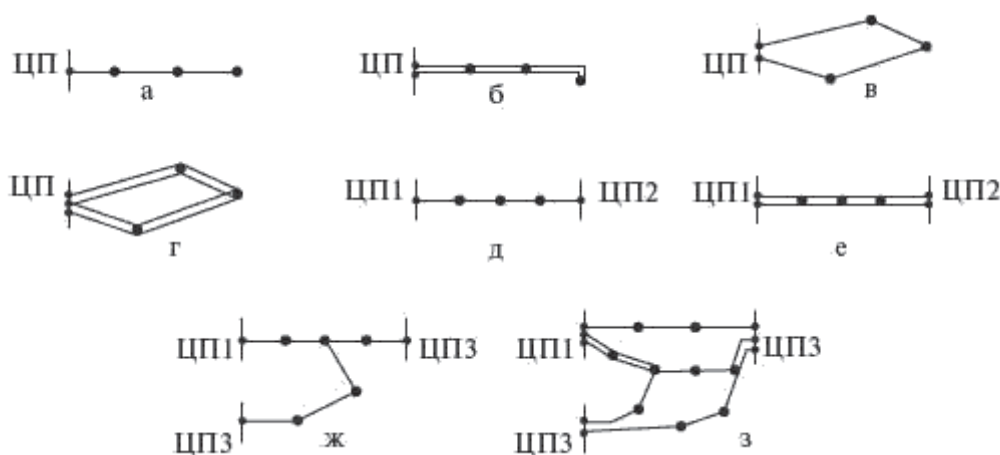


Рис. 2. Основные типы конфигурации сети:

а, б – радиальные с одной (Р1) и двумя (Р2) ВЛ; в, г – замкнутые от одного ЦП с одной (З1) и двумя (З2) ВЛ; д, е – с двусторонним (от двух ЦП) питанием по одной (Д1) ВЛ; ж – узловая с тремя ЦП (У); многоконтурная (М)

Отметим, что нет точного ответ на вопрос, какой вариант схемы электроснабжения наиболее эффективен: более слабая сеть с небольшой взаимозависимостью источников питания или более жесткая сеть с большой их взаимозависимостью. Поэтому расчеты схем необходимо выполнять для каждого отдельного варианта электроснабжения, определяемого конкретными параметрами питающей сети и нагрузки угольного предприятия [3].

Вторая условная группа мероприятий по повышению надёжности и устойчивости электротехнических систем угольных предприятий (более затратная) может включать в себя мероприятия по реконструкции системы внешнего и внутреннего электроснабжения предприятия: разукрупнение узлов нагрузки, облегчение условий самозапуска и повторного пуска электроприводов, внедрение цифровых устройств возбуждения синхронных дви-

гателей, устройств компенсации реактивной мощности, плавного пуска и частотного регулирования, а также применение устройств быстродействующего автоматического включения резерва (БАВР), основным назначением которого является более быстрое переключение электроприемников резервируемой секции шин на питание от резервного источника электроснабжения при возникновении возмущения на основном источнике [3]. Отметим, что использование быстродействующего автоматического включения резерва зачастую не дает возможности полностью устранить влияние нарушений (возмущений) в электроснабжении на работу электротехнических систем на угледобывающих предприятиях, в частности, если есть высокая степень взаимозависимости источников питания.

Ещё один вариант мероприятий – разукрупнение узлов нагрузки экономически

выгодно проводить на этапе проектирования электротехнических систем предприятия. На этапе эксплуатации описанный метод может быть использован в случае наличия у электроприёмников предприятия узлов нагрузки с разными отличающимися показателями устойчивости. При этом имеется возможность перевода части электродвигательной нагрузки с узла, обладающего низкими показателями, на узлы, с наиболее высокими показателями. В этом случае разделение нагрузки может быть оправдано при наличии вблизи угольного предприятия нескольких источников электроснабжения, которые обладают достаточно высокой степенью независимости [6].

Следует помнить, что при анализе вариантов разделения нагрузки нужно осуществить соответствующие расчеты устойчивости и разработку технико-экономических обоснований реализации предложенных вариантов, основываясь на результатах проведения технического анализа (аудита) состояния надёжности внешних питающих электрических сетей [6]. Такая информация должна быть использована угольным предприятием ещё на стадии выдачи технического задания на проектирование шахты, исходя из привязки к месту предполагаемого расположения и состояния существующей энергосистемы, к сетям которой будут присоединяться электроприёмники.

Ещё одним мероприятием, которое предлагается многими исследователями и которое направлено на повышение устойчивости электротехнических систем, следует считать применение устройств компенсации реактивной мощности и цифровых устройств возбуждения синхронных двигателей, используемых в настоящее время на шахтах Кузбасса.

Потребность в компенсации реактивной мощности обусловлена тем, что в процессе самозапуска и повторного пуска асинхронные электродвигатели потребляют преимущественно реактивную мощность [1]. Электропотребление выбегающего асинхронного двигателя, сохранившего связь с питающей энергосистемой, также носит в основном

реактивный характер. При этом, с позиции устойчивости, есть критическое значение угла сдвига фаз между током и напряжением. В данном случае компенсация реактивной мощности может существенно оказывать влияние на параметры устойчивости работы электрооборудования. Следует учитывать то, что критическое значение угла сдвига фаз будет достигнуто по времени тем позже, чем меньше его начальное значение. Из этого следует, что наличие устройств компенсации реактивной мощности и их работа на своей максимальной мощности может повысить устойчивость электротехнических систем при нарушениях электроснабжения [5].

При этом следует помнить и об использовании компенсирующей способности синхронных двигателей. За счет форсировки возбуждения синхронных двигателей можно реализовывать кратковременную компенсацию реактивной мощности в аварийных и послеаварийных режимах. Наиболее существенным в этом случае представляется быстрое действие форсировки возбуждения синхронных двигателей, за счет которой и осуществляется поддержание заданного значения коэффициента ($\cos\phi$) и уровня напряжения в узле нагрузки. Регулирование и форсировка возбуждения СД осуществляются посредством системы возбуждения. Наиболее эффективными представляются системы возбуждения со статическими возбудителями [4].



Рис. 3. Пример системы возбуждения со статическими возбудителями

Выводы

Исходя из вышесказанного, можно с уверенностью утверждать, что актуальной научной и технической задачей на сегодняшний день является получение совокупной и систематизированной информации о состоянии надёжности, режимах и устойчивости внешних и внутренних электротехнических систем как на самих угольных предприятиях Кузбасса, так и на связанных с ними энерго-снабжающих организациях. Получить такую информацию можно только путём проведения технического (энергетического) аудита и анализа действительного состояния надёжности систем электроснабжения на угледобывающих предприятиях.

Результаты проведения технического аудита и анализа состояния надёжности электроснабжения угледобывающих предприятий будут способствовать разработке объективных и конкретных рекомендаций (противоаварийных мероприятий) для каждой конкретной шахты, с учётом особенностей её системы внешнего электроснабжения.

Реализация таких противоаварийных мероприятий будет способствовать повышению безопасности ведения горных работ на шахтах Кузбасса, решению вопроса сохранения на высоком уровне параметров надёжности электроснабжения угольных предприятий и более полному использованию существующего запаса устойчивости их систем электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич Ю.Е., Кабиков К.В. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя. М.: ЭЛЕКС-КМ, 2005. 408 с.
2. Ершов М.С., Егоров А.В., Трифонов А.А. Устойчивость промышленных электротехнических систем. М., 2010. 319 с.
3. Ершов М.С., Егоров А.В., Анцифоров В.А., Суржиков А.В. К вопросу о количественной оценке взаимозависимости источников внешнего электроснабжения // Промышленная энергетика. 2011. № 6. С. 28–32.
4. Ершов М.С., Егоров А.В., Анцифоров В.А. Методы оценки надёжности и независимости источников питания в системах промышленного электроснабжения // Промышленная энергетика. 2014. № 1. С. 2–6.
5. Егоров А.В., Мелик-Шахназарова И.А., Суржиков А.В. Опыт повышения надёжности электроснабжения высокотехнологичного производства // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2012. № 3 (268). С. 23–26.
6. Комков А.Н. О параметрах несимметричных возмущений в системе внешнего электроснабжения. Донецк: ДонНТУ, 2013. С. 22–23.
7. Правила устройства электроустановок / Минэнерго РФ (СССР). 7е изд., перераб. и доп. Спб., 2003. 680 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.10.2.005

UDC 621.31

© V.A. Boyko, 2019

V.A. BOYKO

Head of Laboratory

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: v.boyko@nc-vostnii.ru

RELIABILITY OF ELECTRIC SUPPLY IN KUZBASS COAL MINES AND SUSTAINABILITY WORK OF THEIR ELECTROTECHNICAL SYSTEMS AS A FACTOR OF INCREASING SAFETY OF MINING WORKS

In article is considered the problem of increase in reliability of power supply and resistance of electrotechnical systems to short-term violations of power supply. Considerable attention is paid to actions for increase in stability of electrotechnical systems in Kuzbass coal enterprises. Realization of such actions will promote the solution of question of preservation parameters of reliable power supply in coal enterprises on the high level and also to fuller use of existing stock of stability power supply systems that, thereby, will promote increase in safety of conducting mining works.

REFERENCES

1. Gurevich Yu.E., Kabikov K.V. Features of power supply, focused on the uninterrupted operation of industrial consumer. M.: ELEKS-KM, 2005. 408 p. (In Russ.).
2. Ershov M.S., Egorov A.V., Trifonov A.A. Stability of industrial electrotechnical systems. M., 2010. 319 p. (In Russ.).
3. Yershov M.S., Egorov A.V., Antsiforov V.A., Surzhikov A.V. To question of quantitative assessment of interdependence of sources of external power supply // Industrial Energy, 2011. No 6. P. 28–32. (In Russ.).
4. Ershov M. S., Egorov A. V., Antsiforov V. A. Methods for reliability assessing and independence of power sources in industrial power supply systems // Industrial Energy. 2014. No 1. P. 2–6. (In Russ.).
5. Egorov A.V., Melik-Shakhnazarova I.A., Surzhikov A.V. Experience in improving the reliability of power supply of high-tech production. Trudy RGU nefti i gaza imeni I. M. Gubkina [Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas]. 2012. No. 3 (268). P. 23–26.
6. Komkov A.N. About parameters of asymmetrical indignations in system of external power supply. Donetsk: DonNTU, 2013. P. 22–23 (In Russ.).
7. Regulation for electrical installation / Ministry of Energy of Russian Federation (USSR). 6-7 prod., reslave and additional. Spb., 2003. 680 p. (In Russ.).