

УДК 621.3.08

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Семёнов А.С., Бондарев В.А.

Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: sash-alex@yandex.ru

Данная научная статья посвящена вопросам исследования и анализа показателей качества электрической энергии при работе асинхронного двигателя от преобразователя частоты в лаборатории электромагнитной совместимости и качества электрической энергии кафедры электрификации и автоматизации горного производства Политехнического института (филиала) федерального государственного автономного образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном. Поставлены задачи измерения и анализа показателей качества электроэнергии. Рассмотрены вопросы обеспечения норм качества электроэнергии. Определен перечень измеряемых характеристик. Произведен обзор современных измерительных приборов. Приведено описание программного обеспечения для работы с измеренными показателями качества электроэнергии. Получены и проанализированы результаты измерений. Исследованию подлежали действующее напряжение, напряжение основной частоты, формы и значения напряжений в зависимости от изменяющейся частоты преобразователя, коэффициенты n -х гармонических составляющих напряжения. Сделаны выводы и заключения по полученным результатам. Данное исследование может получить продолжение в виде сопоставления полученных ранее данных измерений показателей качества электроэнергии при прямом пуске асинхронного двигателя от трехфазной сети [12] и прделанного моделирования режимов работы асинхронного двигателя при помощи пакета программ MatLab.

Ключевые слова: показатели качества электрической энергии, энергетическое обследование, электромагнитная совместимость, отклонение напряжения, гармоники, моделирование

ANALYSIS OF INDICATORS THE ELECTRIC POWER QUALITY AT THE WORK ASYNCHRONOUS MOTOR FROM A FREQUENCY CONVERTER

Semenov A.S., Bondarev V.A.

Polytechnic Institute (branch) «NEFU name after M.K. Ammosov», Mirny, e-mail: sash-alex@yandex.ru

This scientific article is devoted to the issues of research and analysis of electric energy quality parameters during operation of the induction motor from the inverter in the laboratory of electromagnetic compatibility and quality of electric energy of the Department of electrification and automation of mining Polytechnic Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «North-East federal University named after M.K. Ammosova» in Mirny. The tasks of measurement and analysis of power quality. The problems of power quality standards. The list of measured characteristics. Produced review of modern instrumentation. Powered by software description for the measured indicators of quality of electric power. We obtained and analyzed the results of measurements. Research subject to operating voltage, the voltage of the fundamental frequency, form and voltage values as a function of varying the frequency converter, the coefficients of n -th harmonic voltage components. The conclusions and opinions on the results. This study can be continued in the form of comparisons of measurement data obtained before the power quality at the three-phase induction motor from the network [12] and do the simulation mode of operation of the induction motor by using MatLab software package.

Keywords: indicators of quality of electric energy, energy audits, electromagnetic compatibility, voltage deviation, harmonics, modeling

Электрическая энергия как товар используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании других видов продукции, влияя на их качество. Понятие качества электроэнергии (КЭ) отличается от понятия качества других видов продукции. Каждый электроприемник (ЭП) предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии: номинальных частоте, напряжении, токе и т.п., поэтому для нормальной его работы должно быть обеспечено требуемое

КЭ [8]. Таким образом, качество электрической энергии определяется совокупностью ее характеристик, при которых ЭП могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции [9].

К основным задачам измерения и анализа показателей качества электроэнергии (ПКЭ) относится: обнаружение помех и их оценка; регистрация измеренных числовых характеристик в целях обработки и отображения результатов; оценка измеренных значений показателей качества электроэнергии на соответствие установленным требованиям;

определение источника помех; проведение коммерческих расчетов между поставщиком и потребителем электроэнергии [1, 18]. Для организации измерений необходимо определить вид контроля, точку осуществления измерений и виды контролируемых ПКЭ. В зависимости от длительности наблюдения можно выделить два вида организации контроля КЭ: периодический и постоянный [3, 4]. Отличие постоянного контроля от периодического заключается в непрерывности времени измерений и обработки результатов.

Возможны два варианта реализации поставленной задачи по измерению и анализу ПКЭ: система мониторинга, основанная на методах виртуального моделирования физических процессов; система мониторинга, основанная на применении контрольно-измерительных приборов [11]. На сегодняшний день методы виртуального моделирования широко применяются во всех областях науки и производства, так как они позволяют оперативно и с наименьшими затратами определить определенные параметры конечного результата. Особенно широко виртуальное моделирование применяется в проектной деятельности. Основным преимуществом второго варианта системы мониторинга ПКЭ является высокая точность, так как метод основан на измерениях физических величин [6, 10, 17, 19].

Также исследования, направленные на использование этого метода, позволяют определить принципиально новые требования к приборам учета и мероприятиям, обеспечивающим оптимизацию ПКЭ [5, 7, 13, 16, 20].

Современные анализаторы ПКЭ должны обеспечивать измерение следующих характеристик в соответствии с требованиями действующего в настоящее время ГОСТ 32144-2013 [2]: отклонение частоты, медленные изменения напряжения, колебания напряжения и доза фликера, несинусоидальность напряжения, в том числе гармонические составляющие, несимметрия напряжения, прерывания напряжения, провалы и перенапряжения, импульсные напряжения.

Измерения ПКЭ и их дальнейший анализ при работе асинхронного двигателя от преобразователя частоты проводились с использованием средств измерений серии Circutor и программного обеспечения типа Power Vision. Анализатор Circutor AR.6 имеет 5 входов по напряжению что соответствует 3 фазам, нейтрали и земли – U1, U2, U3, UN, UEARTH) и 5 входов по току, что соответствует 3 фазам, нейтрали и току утечки одновременно – I1, I2, I3, IN, IK.

На рис. 1 показан измерительный стенд: трёхфазный источник питания, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, прибор Circutor AR.6 с подключенным соединением.



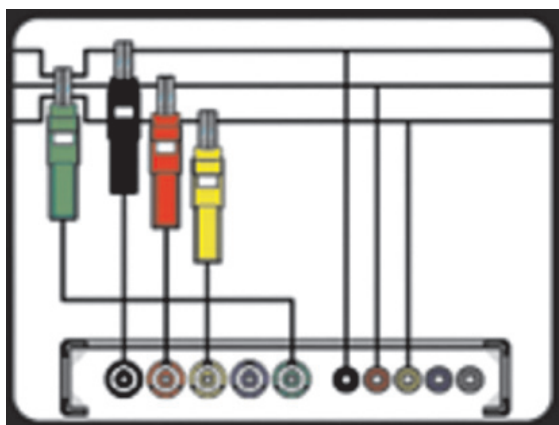
Рис. 1. Измерительный стенд с прибором Circutor AR.6

Входы напряжения и каждый вход тока гальванически изолированы между собой, что позволяет подключать прибор последовательно с другими устройствами (счетчиками электроэнергии, регистраторами и т.п.). Для измерения в схемах с двумя трансформаторами тока применяется специальный режим, когда отсутствующий ток рассчитывается на основании измеряемых. Измерители могут быть использованы в качестве образцовых счетчиков электроэнергии при проверке (или поверке) счетчиков электроэнергии классов точности 0,5 и менее точных на месте эксплуатации. Устройства считывания подключаются к интерфейсу USB измерителя.

В качестве схемы измерения была выбрана трехфазная четырехпроводная система, так как она соответствует одной из схем подключения анализатора Circutor

AR.6 (рис. 2, а). Все полученные данные измерялись с интервалом 1 мс и имеют очень большой объем в табличном эквиваленте. Для получения усредненных графиков измерения воспользуемся методикой обработки и анализа результатов программного обеспечения Power Vision Plus (рис. 2, б). Оно предназначено для чтения всех архивируемых значений параметров с измерителей ПКЭ типа Circutor, их отображения, сохранения и экспорта в другие приложения. Также обеспечивает работу с файлами, записанными измерителями Circutor, непосредственно на устройство посредством подключения по каналу USB.

В качестве электродвигателя использовался трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором марки АИР56А4УЗ, параметры которого приведены в таблице.



а



б

Рис. 2. а – трехфазная четырехпроводная схема измерения напряжения (220/380 В);
б – внешний вид окна приложения Power Vision Plus

Технические данные асинхронного двигателя АИР56А4УЗ

Наименование параметра	Значение
Высота оси вращения вала h	56 мм
Мощность P_n	0,12 кВт
Синхронная скорость вращения n_1	1500 об/мин
Номинальная скорость вращения n_n	1350 об/мин
КПД η	0,63
Коэффициент мощности $\cos\phi$	0,66
Номинальное напряжение U_n	220/380 В
Номинальный ток I_n	0,76/0,44 А
Соединение обмоток	Y/ Δ
Число пар полюсов $2p$	2
Класс изоляции	B
Режим работы	S1



Рис. 3. Форма кривой напряжения и его величина при частоте 30 Гц

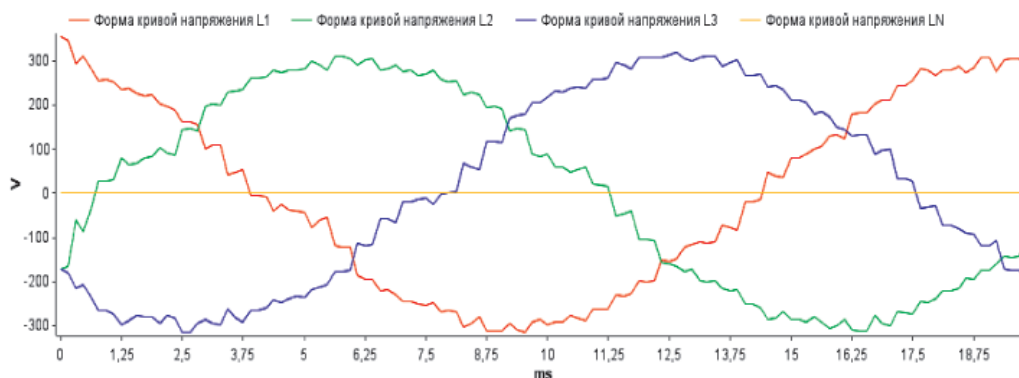


Рис. 4. Форма кривой напряжения и его величина при частоте 40 Гц

В качестве результатов измерений приведем данные об изменениях формы кривых напряжения в зависимости от частоты и график гармонических составляющих.

1. На рис. 3 приведена форма кривой напряжения при частоте 30 Гц. Наблюдаются значительные искажения синусоидальной формы, величина напряжения не соответствует допустимым параметрам (188 В вместо 228 В, при отношении частоты 0,6 к номинальной, что на 8% больше допустимого отклонения).

2. На следующем рисунке приведена форма кривой напряжения при частоте

40 Гц. Наблюдаются незначительные искажения синусоидальной формы, величина напряжения соответствует допустимым параметрам (307 В вместо 304 В, при отношении частоты 0,8 к номинальной).

3. На рис. 5 приведена форма кривой напряжения при номинальной частоте 50 Гц. Наблюдаются незначительные искажения синусоидальной формы, величина напряжения не соответствует допустимым параметрам (334 В вместо 380 В, что на 3% больше допустимого отклонения).



Рис. 5. Форма кривой напряжения и его величина при номинальной частоте 50 Гц

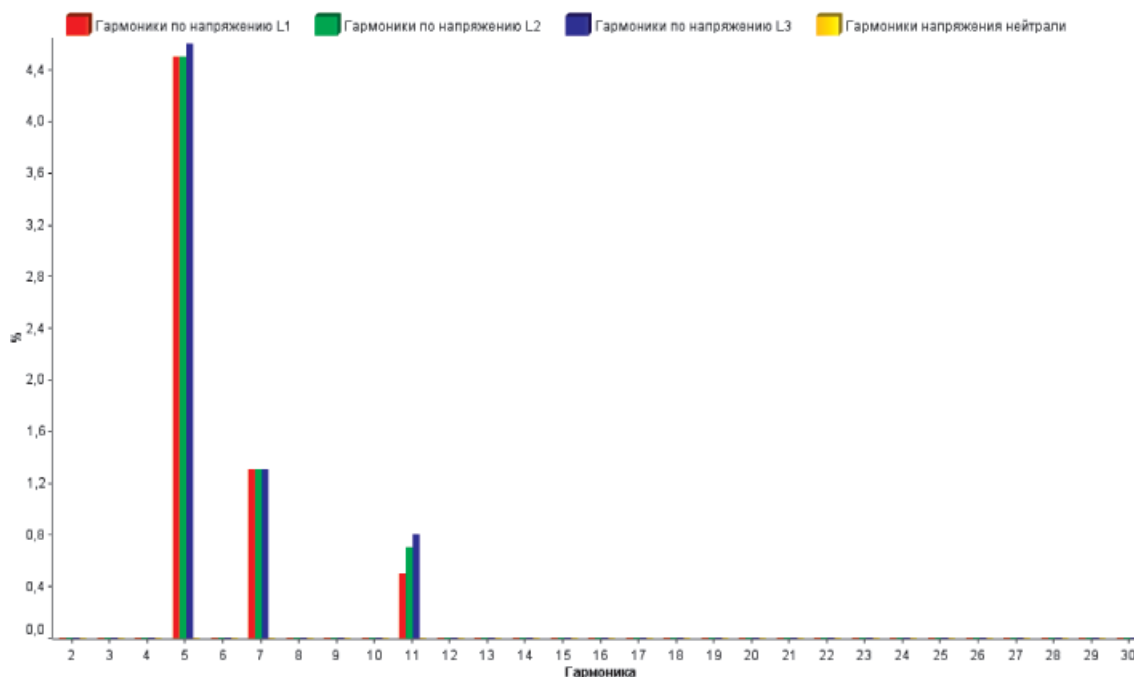


Рис. 6. Коэффициенты n -х гармонических составляющих

4. На рис. 6 приведен график коэффициентов n -х гармонических составляющих. Видно, что все три нечетные гармоники некратные трем соответствуют нормам и не превышают допустимых показателей: 5-я гармоника – 4,5% (допустимо – 6%), 7-я гармоника – 1,3% (допустимо 5%), 11-я гармоника – 0,9% (допустимо – 3,5%).

В заключение подведем итоги по соответствию измеренных показателей качества электроэнергии [15] при работе асинхронного двигателя от преобразователя частоты требованиям ГОСТа. Соответствие качества электроэнергии выполняется: по коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения, по форме и величине кривой напряжения при частоте 40 Гц; не выполняется: по форме и величине кривой напряжения при частоте 30 Гц, по величине напряжения при номинальной частоте 50 Гц. Таким образом, можно отметить, что в целом при работе асинхронного двигателя от преобразователя частоты наблюдаются несоответствия качества электрической энергии, связанные с искажением синусоидальности кривой напряжения и в некоторых случаях с медленными изменениями величины напряжения в недопустимых пределах. Исследования по измерению ПКЭ при работе асинхронного двигателя от преобразователя частоты будут продолжены на промышленных установках [14].

Список литературы

1. Бондарев В.А., Семёнов А.С. Оценка основных факторов энергосбережения // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 228–229.
2. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 16 с.
3. Карташев И.И., Тульский В.Н., Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Мониторинг показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения горных предприятий: монография. – М., 2013. – 142 с.
4. Кузнецов Н.М., Бебихов Ю.В., Самсонов А.В., Егоров А.Н., Семёнов А.С. Качество электрической энергии горных предприятий: монография. – М., 2012. – 68 с.
5. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Разработка системы мониторинга для измерения показателей качества электроэнергии на горных предприятиях // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4–2. – С. 295–299.
6. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Система мониторинга показателей качества электроэнергии применительно к алмазодобывающему подземному руднику // В мире научных открытий: сборник материалов IV международной научно-практической конференции (24 июня 2012 г.). Центр науч. мысли; под науч. ред. С.П. Акутиной. – М., 2012. – С. 146–149.
7. Кузнецов Н.М., Семенов А.С., Бебихов Ю.В., Рыбников А.В. Результаты мониторинга показателей качества электрической энергии потребителей подземного рудника // Горный журнал. – 2014. – № 1. – С. 23–26.
8. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С., Бебихов Ю.В., Самсонов А.В., Егоров А.Н., Шипулин В.С., Рушкин Е.И. Разработка и внедрение системы мониторинга показателей качества электрической энергии для снижения энергоёмкости производства и повышения эффективности работы электрооборудования: отчет о НИР № ВКГОКП 96 4830 3 от 01.01.2010 (Министерство образования и науки РФ). – 2012. – 122 с.

9. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С., Шипулин В.С. Теоретические основы выбора показателей качества электрической энергии по обеспечению электромагнитной совместимости в распределительных системах электроснабжения: отчет о НИР № Код ГРНТИ 52.01.84 (Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова). – 2012. – 85 с.

10. Семенов А.С. Разработка системы мониторинга показателей качества электроэнергии горных предприятий // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 11. – С. 68–73.

11. Семёнов А.С., Бондарев В.А. Выбор контрольно-измерительной техники для регистрации показателей качества электроэнергии // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3–4. – С. 414–416.

12. Семёнов А.С., Матул Г.А., Хазиев Р.Р., Шевчук В.А., Черенков Н.С. Анализ показателей качества электрической энергии при работе асинхронного двигателя от трёхфазного источника питания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–6. – С. 1210–1215.

13. Семенов А.С., Кузнецов Н.М. Анализ результатов мониторинга показателей качества электрической энергии в подземном руднике // Измерительная техника. – 2014. – № 4. – С. 31–34.

14. Семёнов А.С., Самсонов А.В., Бебихов Ю.В., Матул Г.А. Измерение и анализ показателей качества электрической энергии потребителей промышленных предприятий // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6 (84). – С. 446–450.

15. Семёнов А.С., Самсонов А.В., Матул Г.А., Черенков Н.С., Заголило С.А., Мартынова А.Б. Исследование качества электроэнергии при проведении энергоаудита учебного корпуса // Естественные и технические науки. – 2015. – № 10 (88). – С. 331–334.

16. Kuznetsov N.M., Semenov A.S., Bebikhov Yu.V., Rybnikov A.V. Results of monitoring of indicators of electric power quality of underground mine consumers // Gornyi Zhurnal. – 2014 (1). – P. 23–26.

17. Semenov A.S. Development of monitoring system for measuring the quality of electrical energy on the mining industry // Applied and Fundamental Studies Proceedings of the 1st International Academic Conference. – Edited by Yan Maximov, 2012. – P. 301–304.

18. Semenov A.S. Lower the economic losses in electric networks // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 12. – С. 57–59.

19. Semenov A.S. Measurement and analysis parameters quality of electric energy on the mining enterprises // Наука и технологии. – 2014. – № 3. – С. 22–28.

20. Semenov A.S., Kuznetsov N.M. An analysis of the results of monitoring the quality of electric power in an underground mine // Measurement Techniques. – 2014.

References

1. Bondarev V.A., Semenov A.S. Otsenka osnovnykh faktorov energosberezheniia // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2014. no. 5–1. pp. 228–229.

2. GOST 32144-2013 Elektricheskaiia energiiia. Sovmestnost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaia. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniia obshchego naznacheniiia. 2014. FGUP «Standartinform». 16 p.

3. Kartashev I.I., Tulskaa V.N., Kuznetsov N.M., Semenov A.S. Monitoring pokazatelei kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniia gornyykh predpriiatii / monografiia. Moskva, 2013. 142 p.

4. Kuznetsov N.M., Bebikhov Iu.V., Samsonov A.V., Egorov A.N., Semenov A.S. Kachestvo elektricheskoi energii gornyykh predpriiatii / monografiia. Moskva, 2012. 68 p.

5. Kuznetsov N.M., Semenov A.S. Razrabotka sistemy monitoringa dlia izmereniia pokazatelei kachestva elektroener-

gii na gornyykh predpriiatiiakh // Fundamentalnye issledovaniia. 2013. no. 4–2. pp. 295–299.

6. Kuznetsov N.M., Semenov A.S. Sistema monitoringa pokazatelei kachestva elektroenergii primenitelno k almazodobyvaiushchemu podzemnomu rudniku // V sbornike: V mire nauchnykh otkrytii materialy IV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (24 iunია 2012 g.): sbornik nauchnykh trudov. Tsentr nauch. mysli; pod nauch. red. S.P. Akutinoi. Moskva, 2012. pp. 146–149.

7. Kuznetsov N.M., Semenov A.S., Bebikhov Iu.V., Rybnikov A.V. Rezultaty monitoringa pokazatelei kachestva elektricheskoi energii potrebitelei podzemnogo rudnika // Gornyi zhurnal. 2014. no. 1. pp. 23–26.

8. Kuznetsov N.M., Semenov A.S., Bebikhov Iu.V., Samsonov A.V., Egorov A.N., Shipulin V.S., Rushkin E.I. Razrabotka i vnedrenie sistemy monitoringa pokazatelei kachestva elektricheskoi energii dlia snizheniia energoemkosti proizvodstva i povysheniia effektivnosti raboty elektrooborudovaniia. Otchet o NIR no. VKGOKP 96 4830 3 ot 01.01.2010 (Ministerstvo obrazovaniia i nauki RF), 2012. 122 p.

9. Kuznetsov N.M., Semenov A.S., Shipulin V.S. Teoreticheskie osnovy vybora pokazatelei kachestva elektricheskoi energii po obespecheniiu elektromagnitnoi sovmetimosti v raspredelitelnykh sistemakh elektrosnabzheniia. Otchet o NIR no. Kod GRNTI 52.01.84 (Severo-Vostochnyi federalnyi universitet im. M.K. Ammosova), 2012. 85 p.

10. Semenov A.S. Razrabotka sistemy monitoringa pokazatelei kachestva elektroenergii gornyykh predpriiatii // Tekhnicheskii nauki ot teorii k praktike. 2012. no. 11. pp. 68–73.

11. Semenov A.S., Bondarev V.A. Vybora kontrolno-izmeritelnoi tekhniki dlia registratsii pokazatelei kachestva elektroenergii // Mezhdunarodnyi studencheskii nauchnyi vestnik. 2015. no. 3–4. pp. 414–416.

12. Semenov A.S., Matus G.A., Khaziev R.R., Shevchuk V.A., Cherenkov N.S. Analiz pokazatelei kachestva elektricheskoi energii pri rabote asinkhronnogo dvigatel'ia ot trekhfaznogo istochnika pitaniia // Fundamentalnye issledovaniia. 2014. no. 9–6. pp. 1210–1215.

13. Semenov A.S., Kuznetsov N.M. Analiz rezultatov monitoringa pokazatelei kachestva elektricheskoi energii v podzemnom rudnike // Izmeritelnaia tekhnika. 2014. no. 4. pp. 31–34.

14. Semenov A.S., Samsonov A.V., Bebikhov Iu.V., Matus G.A. Izmerenie i analiz pokazatelei kachestva elektricheskoi energii potrebitelei promyshlennykh predpriiatii // Estestvennye i tekhnicheskii nauki. 2015. no. 6 (84). pp. 446–450.

15. Semenov A.S., Samsonov A.V., Matus G.A., Cherenkov N.S., Zagolilo S.A., Martynova A.B. Issledovanie kachestva elektroenergii pri provedenii energoaudita uchebnogo korpusa // Estestvennye i tekhnicheskii nauki. 2015. no. 10 (88). pp. 331–334.

16. Kuznetsov N.M., Semenov A.S., Bebikhov Yu.V., Rybnikov A.V. Results of monitoring of indicators of electric power quality of underground mine consumers // Gornyi Zhurnal. 2014 (1), pp. 23–26.

17. Semenov A.S. Development of monitoring system for measuring the quality of electrical energy on the mining industry // V sbornike: Applied and Fundamental Studies Proceedings of the 1st International Academic Conference. Edited by Yan Maximov. 2012. pp. 301–304.

18. Semenov A.S. Lower the economic losses in electric networks // Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniia. 2013. no. 12. pp. 57–59.

19. Semenov A.S. Measurement and analysis parameters quality of electric energy on the mining enterprises // Nauka i tekhnologii. 2014. no. 3. pp. 22–28.

20. Semenov A.S., Kuznetsov N.M. An analysis of the results of monitoring the quality of electric power in an underground mine // Measurement Techniques. 2014.