

Для цитирования: Герейханов Р.К. АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):45-52. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-45-52

For citation: Gereykhonov R.K. ELECTRICITY QUALITY INDICATION IMPROVING ALGORITHM IN INDUSTRIAL ENTERPRISES. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 42(3): 45-52. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-45-52

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 620.98

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-45-52

Герейханов Р.К.

Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,
e-mail: gereyhanov@gmail.com.

АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. Цель. В статье рассматриваются вопросы повышения качества электроэнергии на предприятиях; проведен анализ методов и базовых алгоритмов анализаторов параметров электроэнергии, на основе которых предлагается алгоритм и аппаратная структура системы для решения проблем, связанных с компенсацией реактивной мощности на предприятиях. **Методы.** В основу разработки легли математические методы и алгоритмы, которые позволяют анализировать гармонический состав электрических сигналов и производить расчет коэффициентов разложения по совокупности параметров для оценки качества электрической энергии предоставляемой потребителю. Для объективной оценки качества электрической энергии все полученные данные сравниваются с эталонными значениями из ГОСТ Р 54149-2010, после чего выявляется комплексная оценка качества электрической энергии. **Результат.** Данная разработка не только анализирует качество электрической энергии, но и отличается от аналогов присутствием обратной связи и проверкой на определение степени воздействия на энергосеть для восстановления электрического сигнала с помощью подключения компенсационных устройств, что позволяет определенным параметрам электрической сети не отклоняться от регламентированных норм. **Вывод.** Отличительной особенностью разработанного алгоритма является быстроедействие и работа системы в реальном времени, что позволяет одновременно анализировать состояние сети и оказывать мгновенное воздействие. Также алгоритм предоставляет возможность взаимодействия с техническим персоналом для принятия решения в диалоговом режиме.

Ключевые слова: энергоснабжение, качество электроэнергии, энергосеть, алгоритмы

Rasul K. Gereykhonov

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
e-mail: gereyhanov@gmail.com.

ELECTRICITY QUALITY INDICATION IMPROVING
ALGORITHM IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

Abstract. Aim. The questions of electrical power quality increase at the enterprises are considered at this article; the analysis of methods and basic algorithm analyzer parameters are carried out based on the algorithm and hardware structure of the system to solve the problems related to the compensation of the reactive power at the enterprises. **Methods.** The mathematical methods and algorithms formed the basis which allows analyzing the harmonic structure of the electrical signals it is allowed to calculate the expansion coefficients for the set of parameters to assess the quality of electricity supplied to consumers. To objective assessment of electric energy quality all the data are com-

pared with the reference values of the GOST R 54149-2010, after all a complex assessment of the electrical energy quality is revealed. **Results.** This development not only analyses the quality of electrical energy, but also differs from analogues by the presence of feedback and check to determine degree of impact on the power grid to recover the electrical signal by connecting compensation devices, which allows certain parameters of the electric network not to deviate from the regulated standards. **Conclusion.** A distinctive feature of the algorithm is the speed and operation of the system in real time that allows to analyze at the same time the state of the network and to make instant impact Also the algorithm provides the opportunity to interact with technical staff to decide in the dialogue mode.

Key words: energy, quality of the electric power, grid, algorithms

Введение. Оценка контроля качества электрической энергии подразумевает выявление соответствий её показателей установленным нормам в ГОСТ Р 54149-2010 [3]. Оценка показателей качества электрической энергии предполагает выполнение большого объёма измерений с достаточно высокой производительностью. Для контроля качества электроэнергии применяют сертифицированные приборы, обеспечивающие измерения, расчет требуемых параметров и проверку на соответствие ГОСТу с последующим принятием решения о качестве электрической энергии, предоставляемой сетевым поставщиком.

Постановка задачи. В мировой практике решение проблемы качества поставок электроэнергии одновременно идет по двум направлениям: технологическому и нормативному [11,12,13,14]. Сущность технологического подхода заключается в развертывании территориальных систем контроля и управления качественными показателями электроэнергии. При этом мониторинг проводится на уровнях передачи и распределения электрической энергии. Нормативный подход предполагает создание технических регламентов и стандартов, определяющих отношения поставщика и потребителя электроэнергии с учетом ее качества. Контроль качества электроэнергии по этому направлению основывается на следующих трёх стандартах [5]: стандарты на методы измерений параметров качества электроэнергии; стандарты на качество электрической энергии (КЭЭ); стандарты по организации и проведению контроля КЭЭ и форму отчетов. В соответствии с ГОСТ Р 54149-2010 показатели качества электроэнергии снимаются непосредственно с точек передач электрической энергии пользователям, а не на точках распределения. Как правило, количество и местоположение этих источников в сети известно ориентировочно, а уровень вносимых источниками искажений заранее достоверно не определен. Искажающие токи растекаются по электрическим сетям в зависимости от схемы сети, частотных характеристик и т. п. после чего суммируются в сетевых узлах. Поэтому искажение напряжения определяется действием нескольких «виновников». Первичная обработка качества параметров напряжения и тока заключается в определении их гармонического состава посредством быстрого преобразования Фурье с усреднением полученных значений на установленных интервалах времени. В соответствии с ГОСТ Р 54149-2010 требуется вычислять среднеквадратичные значения, что приводит к необходимости использования многопроцессорных архитектур при построении приборов.

Методы исследования. Величины параметров электрической сети можно измерить прямыми и косвенными методами, но некоторые из параметров, такие как, среднеквадратичские значения напряжений и токов, доза фликера и т.д. могут быть измерены лишь косвенными методами. Для определения величин напряжений и токов в электрической сети целесообразно использование различного рода аналого-цифровых преобразователей (АЦП), к входам которого подключаются прецизионные низкоомные резисторы, их величины составляют доли Ома, что минимизирует рассеиваемую на резисторах мощность, а к выходу АЦП возможно подключение вычислительного устройства для обработки первичной информации с последующим отображением результатов измерения.

Как показало исследование, существуют два варианта измерения параметров электрических сетей. Первый из них предлагает использование традиционных измерительных приборов с оценкой качества электрической энергии оператором, проводящим соответствующие измерения. Такой вариант достаточно трудоемок и не лишен известной доли субъективизма. Второй

вариант основан на применении в качестве измерителей параметров сетей автоматизированных и автоматических систем контроля. Дополнительно предоставляется возможность проведения диагностики электрических сетей, автоматизации документирования результатов контроля, обработки статистической информации [1] и т.д. Преимущества данного варианта вполне очевидны, однако его реализация требует значительных экономических затрат. Примерами такого рода анализаторов качества электрической энергии являются UF2[7], Парма РК 3.01[8], ИБК «Омск-М». [9] Эти анализаторы незначительно отличаются друг от друга технико-экономическими показателями, имеют однотипную структуру (рис.1) и практически используют одинаковые алгоритмы функционирования, отличающихся в отдельных деталях.

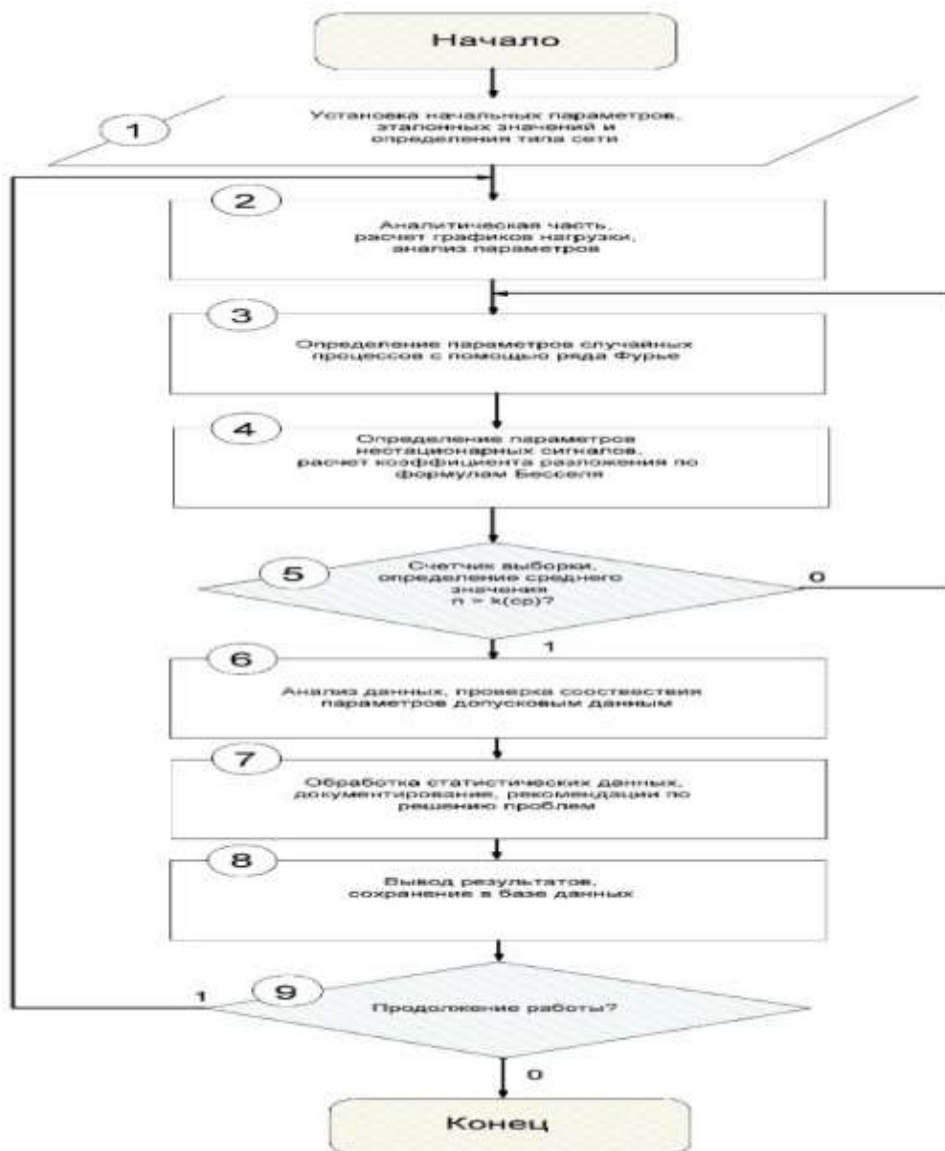


Рисунок 1-Обобщённая структурная схема системы анализа параметров электроэнергии

Обобщённая структура этих алгоритмов приведена на рисунке 2, и состоит из следующих блоков:

- 1.Задание режимов работы, установка эталонных значений и определение типа сети (трехфазная или однофазная);
2. Сбор и анализ данных, определение расчетных графиков, параметров электрической сети на основе результатов, полученных от АЦП;

3-4. Определение гармонического состава сигнала с помощью преобразования Фурье, определение параметров нестационарных сигналов, возникающих в энергосети, расчет коэффициентов разложения по методике Бесселя;

5. Цикл итераций для определения среднеквадратических значений полученных по методам разложения и определения гармонического состава;

6. Проверка целостности полученных данных, сравнение с эталонными значениями, регламентированных ГОСТ;

7. Рекомендации по решению проблем на электрической линии, выдвинутых на основе статистических расчетов, документирование параметров;

8. Вывод результатов по поддерживаемым интерфейсам связи, сохранение полученных данных в локальной и серверной базе данных.

В ряде задач приёма сигналов в присутствии шумов нельзя ограничиться таким общим критерием, как отношение сигнал/шум. Возникает необходимость использовать более тонкие статистические свойства процессов [2], которые дают возможность количественно оценить достоверность полученных данных. Также, для обработки дискретного сигнала рекомендуются применять фильтры Бесселя [10].

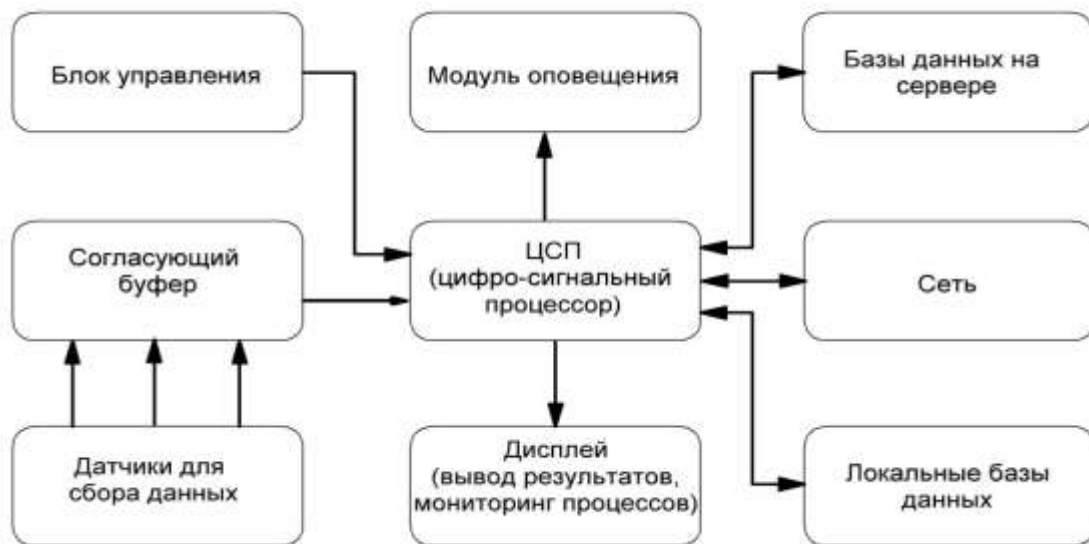


Рисунок 2- Основной обобщенный алгоритм анализатора КЭЭ

Как следует из алгоритма, анализаторы выполняют функции сбора и анализа информации о текущем состоянии электрической сети, обработки статистической информации и выдачи рекомендаций по устранению возможных внештатных ситуаций. При этом, непосредственное устранение [15,16,17,18] таких ситуаций возлагается на обслуживающий электрические сети технический персонал.

Однако, учитывая наличие человеческого фактора в контуре управления параметрами электрических сетей, сложно судить о достаточном быстродействии по ликвидации внештатных ситуаций. Для устранения указанного недостатка, т.е. исключения технического персонала обслуживания электрических сетей при возможных критических ситуациях, предлагается переход к автоматической системе [4] анализа поступающей информации с последующим воздействием на параметры сети (рис. 3).

Непосредственное воздействие на параметры сети предлагается посредством компенсационных устройств [6], при этом, целесообразна коммутация не одного компенсатора максимальной мощности из-за проблем снижения эффективности и возникновения фликер-эффекта, а требуемого по мере изменения параметров сети количества устройств меньшей мощности, т.е. применение ступенчатой коммутации или плавной регулировки выходной мощности.

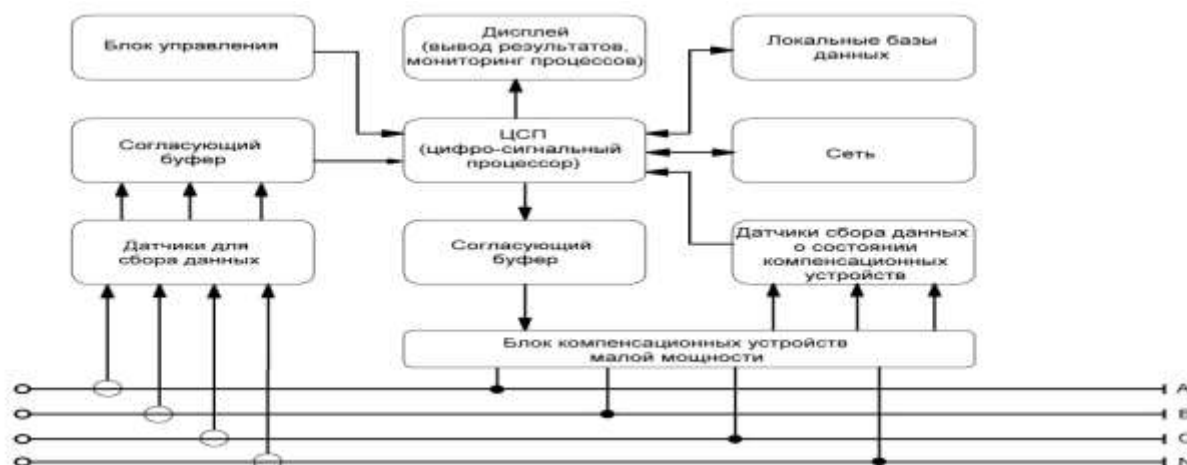


Рисунок 3-Структурная схема системы анализа и управления параметрами электроэнергетики

В этом случае алгоритм функционирования системы анализа информации и управления параметрами электрической сети (рис.4) выполняет следующие действия:

1- 2. Определяются начальные значения анализируемых электрических цепей и активной нагрузки, аппроксимируются графики нагрузки, создается аналитическая модель исходного состояния электрической сети;

3. Происходит квантование и разложение на составляющие, которые будут соответствовать техническим требованиям подключаемых компенсаторов;

4. Цикл уменьшения вероятности ошибки и получения требуемого эффекта при коммутации компенсационных устройств, выводится среднее значение, исходя из множества выборов;

5-6. Квантование графиков нагрузки, расчет потерь на основании которых принимается решение о расхождении значений с эталонными;

7. Фильтрация и подготовка данных в зависимости от используемого протокола, на основе которого происходит определение типа изменившегося параметра;

8. Анализ изменения параметров от предыдущих измерений (измерительная часть работает до тех пор, пока не будут выявлены изменения между пакетами данных);

9-10. Определение изменившихся параметров, приоритета отклонившегося параметра и степени отклонения от допустимых норм, на основе чего решается, воздействовать на сеть в автоматическом режиме, или ожидать решения пользователя о применении тех или иных предложенных вариантов;

11. Распределение функций в соответствии с принятым решением блоком 9;

12. Оповещение об отклонении параметров от допустимых норм и автоматическом воздействии на электрическую сеть с целью компенсации отклонившихся параметров;

13-14. Проверка доступности используемых ресурсов, установка ограничений, определение требуемой мощности для компенсации реактивной мощности;

15-17. Взаимодействие с техническим персоналом посредством диалоговых окон с выбором предлагаемых вариантов и прогноза исхода событий при определённом выборе;

18. Проверка текущего состояния компенсаторов, анализ и определение доступности ресурсов;

19-21. Управление ступенями подключаемой мощности посредством компенсационных устройств (в данном варианте, в качестве примера, предложены три ступени воздействия при разных уровнях потребляемой мощности в процентном отношении). Если превышение номинальной потребляемой мощности ниже 25%, то активизируется требуемая часть из ресурсов компенсационных устройств с целью восстановления параметров сети;

23-26. Контроль отклоненных от норм параметров сети после подключения компенсационных устройств. При нахождении параметров в поле допуска следует сообщение об успеш-

ном восстановлении сигнала с документированием, в противном случае, переход к блоку 2 для повторного анализа всех параметров и определения последующей степени воздействия;

22, 29. Оповещение об аварии и включение защитных механизмов, если все имеющиеся компенсационные средства не способны восстановить сигнал. Такая ситуация может произойти при потреблении больших мощностей, превышающих мощность компенсационных устройств. Если отклонения могут привести к авариям, возможно отключение фаз с помощью управляемых коммутаторов используемых на линии;

28. Отображение текущей информации о состоянии сети, запись данных на удаленные сервера, документирование.

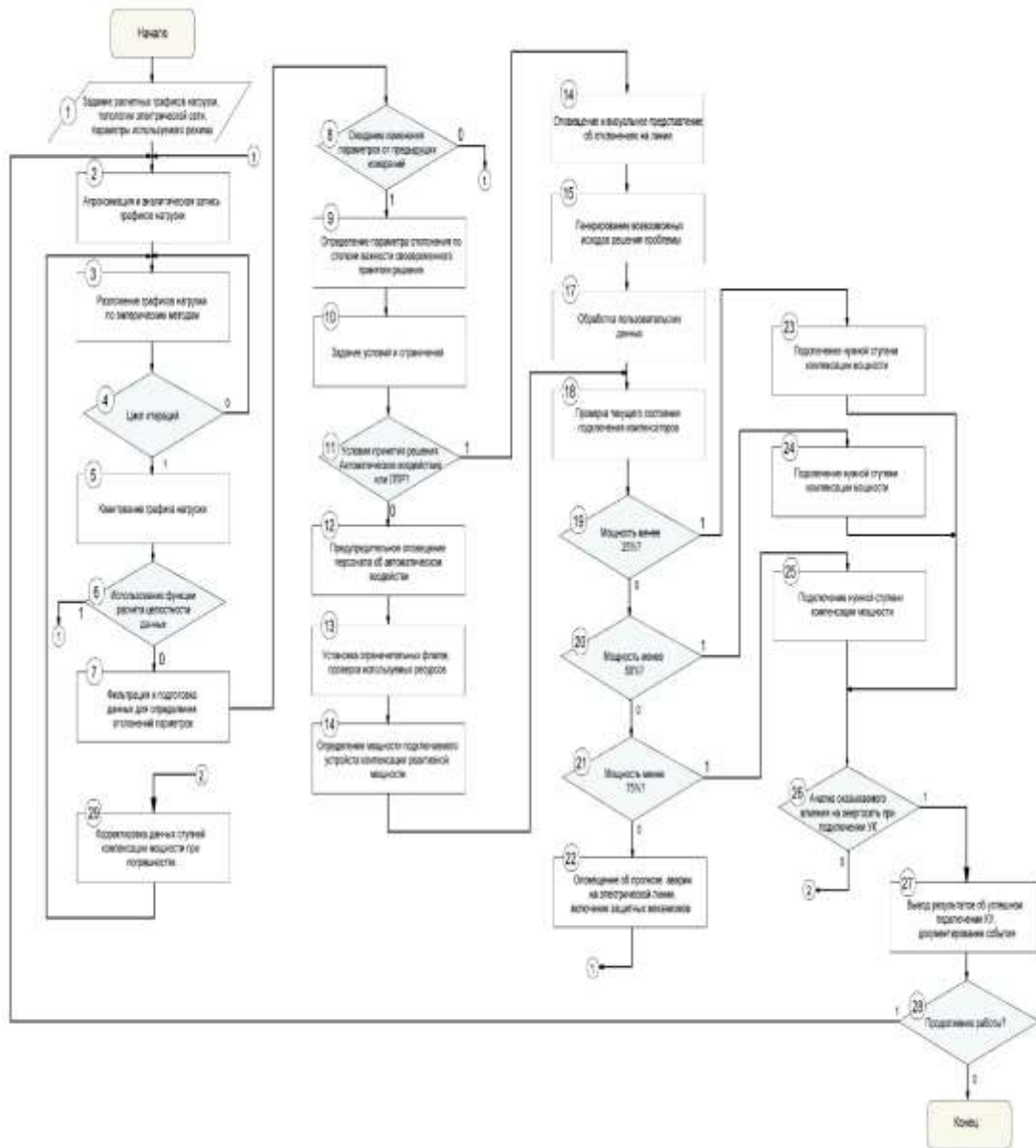


Рисунок 4- Алгоритм анализа и управления электрическими линиями

Вывод. В основу разработки представленного алгоритма легли математические и статистические функции, позволяющие выявлять гармонический состав сигнала, расчет коэффициентов разложения и оценки по совокупности параметров о качестве предоставляемой энергии [19,20,21] потребителю и состоянию электрической сети.

Сравнение полученных данных происходит с эталонными значениями регламентированных в ГОСТ Р 54149-2010, с учетом которых производится комплексная оценка качества электрической энергии.

Предложенное решение отличается дополнительной проверкой на определение степени воздействия на энергосеть для последующего восстановления сигнала с помощью подключения компенсационных устройств. Алгоритм предоставляет возможность взаимодействия с техническим персоналом при принятии решения в диалоговом режиме.

Библиографический список:

1. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. - М.: Статистика, 1977.- С.64 - 98
2. Никитин Ю.М. Метод статистического исследования нестационарных случайных процессов в электроснабжении. Электричество. - 1971. - № 2. - С. 25–30.
3. Weng B. Optimal signal reconstruction using the empirical mode decomposition. *Euroasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2008, vol.4. pp.12–18.
4. Исмаилов Т.А., Герейханов Р.К., Магомедов А.М., Способ повышения качества электроснабжения напредприятиях и распределительных сетях. - Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Т.35, №4 - 2014 - С. 88-95
5. ГОСТ Р 54149-2010, <http://www.elec.ru/library/gosts/gost-r-54149-2010>.
6. Компенсационные устройства, <http://goo.gl/Tm3gZ5>
7. UF2, <http://www.entp.ru/catalog/pke/12>
8. Парма РК 3, <http://www.energoaudit.ru/goods/electrotesters/analizatory/500.html>
9. ИВК «Омск-М», <http://www.kip-guide.ru/info/21571-01>
10. Фильтры Бесселя, <http://service4u.narod.ru/html/filter.html>
11. Паули В.К. Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии. - Энергоэксперт. 2007. - №2. - с. 16-22.
12. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. - М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.
13. Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях. - Додэка – XXI, 2010. - 336 с.
14. Benysek G. Power Theories for Improved Power Quality. 2012, pp.49-116.
15. Sahadat N., Hossain S., Rahman A., Taufique S. Power Quality Improvement of Large Power System Using a Conventional Method. 2011, pp.823-828.
16. Power Distribution Planning Reference Book. *Second Edition, New York*, 2011, pp.102-123.
17. Naik R.S., Vaisakh K. and Anand K. Determination of ATC with PTFDF Using Linear Methods in Presence of TCSC. The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, *Singapore, 26-28 February 2010*, Vol. 5, pp. 146-151.
18. Fuchs E., Mohammad A. S. Masoum. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines. 2008, pp. 55 – 60.
19. Dugan C., Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty. Electrical Power Systems Quality. *Third Edition*, 2014, pp.105 – 111.
20. Гаврилов Ф.А. Качество электрической энергии. *Приазовский ГТУ*, 2007. - 96 с.
21. Волгин М.Е. Надежность и качество электрической энергии в системах электроснабжения. *Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова*, 2008. - 81 с.

References:

1. Chetyrkin E., Statistical methods of forecasting. Moscow: *Statistika*, 1977, pp. 64 – 98 (In Russian)

2. Nikitin Yu. M., Method of statistical study of nonstationary random processes in the power supply. *Elektrichestvo*. 1971, no. 2, pp.25-30 (In Russian)
3. Weng B. 2008, Optimal signal reconstruction using the empirical mode decomposition. *Euroasip Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 4, pp. 12-18.
4. Ismailov T. A., Garahanov R. K., Magomedov M. A. Method of increasing the quality of electricity supply appropriate and distribution networks. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences], 2014, vol.35, no.4, pp. 88-95. (In Russian)
5. GOST R 54149-2010, <http://www.elec.ru/library/gosts/gost-r-54149-2010> (In Russian)
6. The compensation device <http://goo.gl/Tm3gZ5>(In Russian)
7. UF2, <http://www.entp.ru/catalog/pke/12>(In Russian)
8. Parma RK 3, <http://www.energoaudit.ru/goods/electrotesters/analizatory/500.html>(In Russian)
9. IVK "Omsk-M", <http://www.kip-guide.ru/info/21571-01>(In Russian)
10. Filters-Bessel, <http://service4u.narod.ru/html/filter.html>(In Russian)
11. Pauli V.K. Reactive power Compensation as effective crestoronline use of electricity. *Energoekspert*. 2007, no.2, pp.16-22.
12. Zhelezko Yu.S. Loss of electricity. Reactive power. The quality of electricity. *Moscow: ENAS*, 2009, 456p.
13. Kusko A., Thompson M. Power Quality in electrical networks. *Dodeka XXI*, 2010, 336 p.
14. Benysek G. Power Theories for Improved Power Quality. 2012, pp.49-116.
15. Sahadat N., Hossain S., Rahman A., Taufique S. Power Quality Improvement of Large Power System Using a Conventional Method. 2011, pp.823-828.
16. Power Distribution Planning Reference Book. *Second Edition, New York*, 2011, pp.102-123.
17. Naik R.S., Vaisakh K. and Anand K. Determination of ATC with PTDF Using Linear Methods in Presence of TCSC. The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, Singapore, 26-28 February 2010, vol. 5, pp. 146-151.
18. Fuchs E., Mohammad A. S. Masoum. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines. 2008, pp. 55 – 60.
19. Dugan C., Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty. Electrical Power Systems Quality. *Third Edition*, 2014, pp.105 – 111.
20. Gavrilov A.F. the Quality of electrical energy. Priazovskii GTU, 2007, 96p.(In Russian)
21. Volgin M.E., Reliability and quality of electric energy in power systems. *Pavlodar: PGU im. S. Toraigyrova*, 2008, 81p. (In Russian)

Сведения об авторе.

Герейханов Расул Кудратович – аспирант, кафедры теоретической и общей электротехники.

Rasul K. Gereihanov – postgraduate student, Department of theoretical and General electrical engineering.

Поступила в редакцию 25.05.2016.

Received 25.05.2016.

Принята в печать 25.07.2016.

Accepted for publication 25.07.2016.