

УДК 681.621.317

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ****INFORMATION-METERING SYSTEM FOR CONTROLLING  
AND METERING OF ELECTRICAL ENERGY****Гянджаев Намик Эйтибар оглы**

диссертант кафедры приборостроение,  
Азербайджанский государственный университет  
нефти и промышленности  
namiq040@mail.ru

**Ganjaev Namik Eytibar**

Dissertation Candidate  
of the Department  
of Instrument Engineering,  
Azerbaijan State University  
of Petroleum and Industry  
namiq040@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы создания высокоэффективных информационно-измерительных систем (ИИС) контроля и учета электрической энергии, снижения погрешности измерения и учета электрической энергии, за счет применения процедур и средств цифровой обработки сигналов, снижения потерь энергии из-за недостоверности результатов измерения. Приведены конкурентные структуры ИИС, построенные с учетом современных тенденций развития электроснабжения и средств и методов измерения параметров электрической энергии с применением «зеленых» технологий для компенсации потерь электрической энергии при измерениях, для чего предусмотрено введение в структуру ИИС блока с локальным контроллером и подсистемы управления энергией, которые компенсируют потребляемую электрическими счетчиками путем использования энергии солнца от солнечных батарей установленных непосредственно на счетчиках, при их расположении на больших расстояниях, и для группы счетчиков при их компактном расположении. Показана целесообразность применения современных цифровых счетчиков электрической энергии с внутренним реле-выключателем, которые позволяют отключать потребителей-должников, а также после аварийного отключения подключать потребителей к электросети с учетом нагрузки к сети, используя критерия минимума потребления, что снижает вероятность повторного отключения сети. При этом приведены структуры ИИС с блоком управления энергией с локальным контроллером и подсистемой входящих в ИИС.

**Ключевые слова:** информационно-измерительная система; «зеленые» технологии; локальным контроллер; цифровые счетчики; энергия солнца.

**Annotation.** Questions of creation of highly effective information-measuring systems (IMS) of control and metering of electric energy, reduction of errors of measurement and metering of electric energy due to application of procedures and means of digital signal processing, reduction of energy losses due to unreliability of measurement results are considered. The competitive structures of IIS, built taking into account modern tendencies of development of power supply and means and methods of measurement of parameters of electric energy with application of "green" technologies for compensation of losses of electric energy at measurements, for what introduction in structure of IIS of block with local controller and subsystem of management of energy which compensate consumed by electric meters by means of use of energy of the sun from solar batteries established directly on the meters, at their use is provided are resulted. It is shown expediency of application of modern digital electric energy meters with internal relay-switch, which allow to disconnect consumers-debtors, and also after emergency disconnection to connect consumers to the electric network, taking into account the load on the network, using the criterion of minimum consumption, which reduces the probability of repeated disconnection of the network. At the same time, the structures of the IIS with energy management unit with local controller and subsystem of incoming IIS are given.

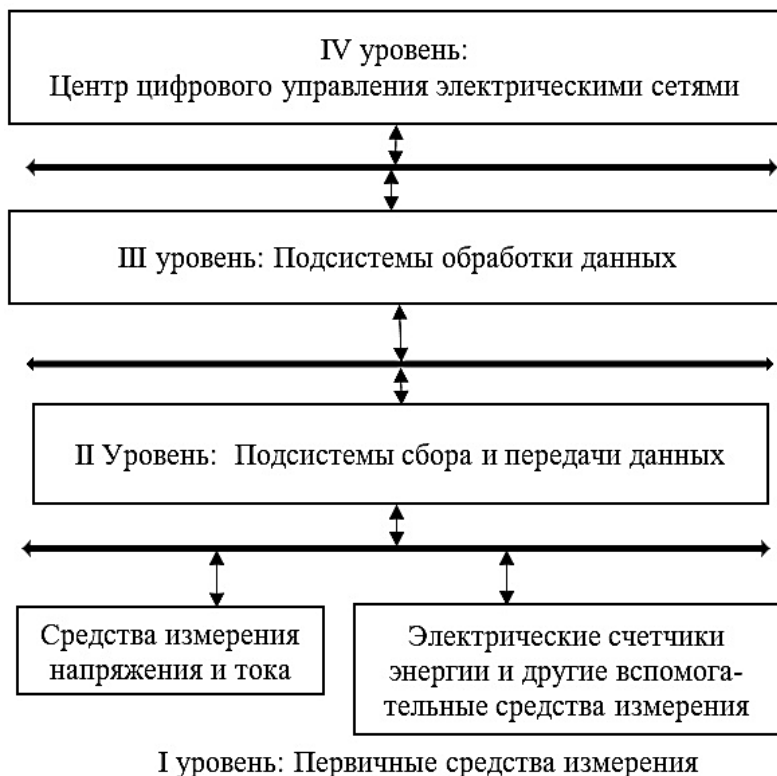
**Keywords:** information metering system; green technologies; local controllers; digital meters; solar energy.

**В**ведение

Развитие и постоянное расширение применения зеленой энергетики и энергосберегающих технологий требует ускорения применения этих технологий во всех сферах национальной экономики. Данная тенденция актуальна в энергетике, особенно в электроэнергетике, которая занимается производством и распределением электроэнергии. Здесь потери энергии существуют в линиях электропередачи, измерительных приборах, электрооборудовании и сетях различного напряжения. Одна из таких потерь происходит в счетчиках электроэнергии, которые используются для измерения электроэнергии, потребляемой потребителями [1, 2]. Эти потери определяются потребляемой самим счетчиком электрической энергией и погрешностью применяемого счетчика, величина которой пропорциональна значениям измеряемых электрическо-

го напряжения и тока, то есть чем больше измеряемое напряжение и ток, тем больше доля погрешности в результатах измерений.

Измерение напряжения, тока и других сопутствующих величин в электрической сети, определение и учет мощности и энергии в зависимости от этих величин включает низковольтные, высоковольтные и сверхвысоковольтные, а в последнее время и экстра-высоковольтные участки сети. В связи с этим определяют средства измерений и устройства, применяемые при малых напряжениях и малых мощностях, их класс точности (погрешность), погрешность средств измерений и устройств, применяемых в источниках (линиях) высокого и сверхвысокого напряжения по диапазону изменения и значения измеряемых величин, даже если они имеют одну и ту же конструкцию, будут значительно меньшими. С учетом этого обобщенная структура системы представлена на рисунке 1.



Рисунке 1 – Обобщенная структура системы

На первом уровне измерения размещаются первичные измерительные приборы с телеметрическими или цифровыми выходами, измеряющие параметры учета электроэнергии потребителей (потребляемая электроэнергия, мощность, напряжение и ток), а также температура для компенсации влияния окружающей среды и внешней среды на измерение).

Второй уровень состоит из устройств сбора и подготовки данных, специализированных измерительных подсистем или программируемых преобразователей, осуществляющие ежедневный сбор результатов измерений в заданном среднем интервале, обработка этих и результатов и передача данных на более высокий уровень.

На третьем уровне могут быть размещены компьютер или сервер подсистем, осуществляющих окончательный сбор данных и обеспечивающих документирование и отображение этих данных в удобном для пользователя виде для анализа и принятия решений (управления) оперативным и управленческим персоналом.

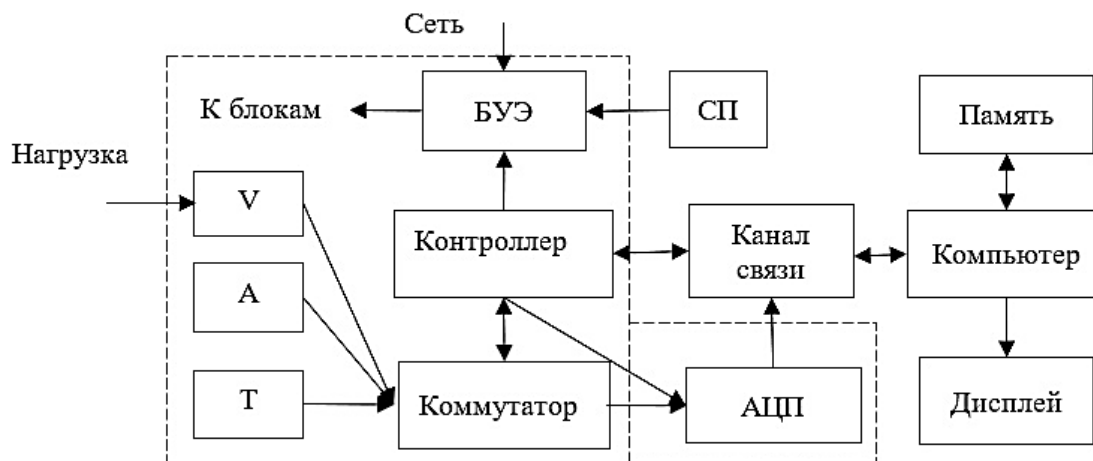
Четвертый уровень является центром цифрового управления сетями, где размещаются серверы со специализированным программным обеспечением.

Исследования показывают, что в связи с расширением использования зеленой энергетики в целях экономии энергии и снижения избыточных потерь энергии в информационно-измерительной и управляющей системе следует рассмотреть использование подсистемы управления энергией ИИС для учета электроэнергии или блок

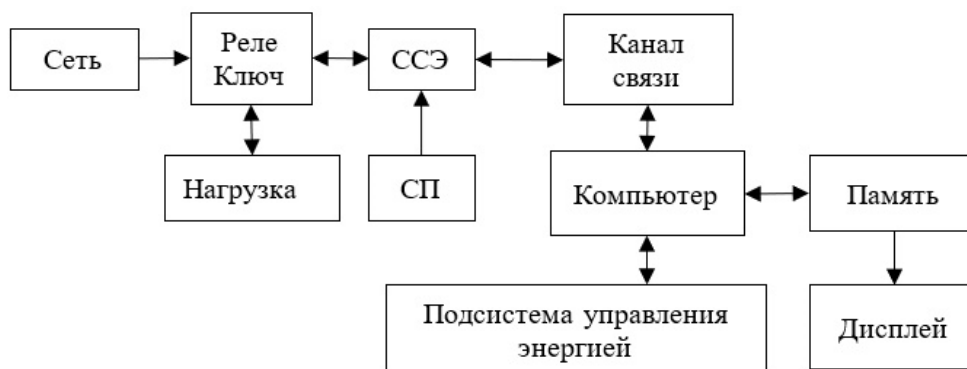
управления энергией в счетчике электроэнергии [5]. С учетом этой тенденции развития структура информационно-измерительной системы учета электроэнергии представлена на рисунке 2, где V – цепь измерения напряжения; A – цепь измерения силы тока; T – цепь измерения температуры; СП – солнечная панель; БУЭ – блок управления энергией; АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

Блоки, окруженные пунктирными линиями, вместе образуют счетчик электроэнергии. Трехфазные современные счетчики электроэнергии (прямого и трансформаторного типа) предназначены для измерения активной и реактивной электрической энергии заданной частоты 50 Гц в трехфазной системе напряжения.

Структура современной системы учета электроэнергии с использованием электросчетчика представлена на рисунке 3, где ССЭ – современные счетчики электроэнергии; СП – солнечные панели.



Рисунке 2 – Структура системы учета электроэнергии



Рисунке 3 – Структура ИИС учета электрической энергии с современным электросчетчиком

Устройства измерения потребления электрической энергии, входящие в состав информационно-учетной системы и служащие первичным источником данных, должны отвечать следующим основным требованиям:

- учет электрической энергии на основе измерения активной и реактивной мощности;
- наличие выходов сигналов, пропорциональных измеряемой энергии;
- расчет параметров тока и энергопотребления за прошедшие за заданный период времени;
- запись результатов средней мощности и расчет энергии интегрированием значений, измеренных с заданным интервалом;
- обеспечение безопасности данных;
- формирование базы данных результатов учета с применением соответствующего тарифа на электроэнергию;
- контроль предельно допустимой и заданной нагрузки по активной мощности.

Программа обеспечения средства измерений предусматривает программирование счетчика и просмотр данных в оперативном режиме. Интервалы усреднения результатов измерений показателей качества электроэнергии задаются исходя из графика нагрузок и эксплуатационных требований к оборудованию, подключаемому к сети.

Задачи снижения ошибок при получения передаваемой информации, на фоне помех более успешно решаются на основе цифровой обработки сигналов. Поэтому в последнее время широкое применение нашла цифровизация процессов измерения, контроля и управления. При этом самыми распространенными операциями цифровой обработки над измерительными сигналами являются фильтрация, аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразования,

При этом цифровая фильтрация является одной из наиболее распространенных и широко используемых операций цифровой обработки сигналов [6, 7]. В результате фильтрации входной сигнал преобразуется в сигнал заданной формы. Фильтр нижних частот предназначен для пропускания только определенных гармоник сигнала, ниже заданной частоты среза фильтра.

Фильтр нижних частот предотвращает прохождение гармоник выше половины частоты дискретизации. Это обеспечивает выполнение условий теоремы Котельникова-Найквиста. Простейший фильтр нижних частот для сглаживания сигнала и удаления высокочастотного шума реализуется методом скользящего среднего. сущность которого состоит в последовательной замене каждой выборки (измерения) сигнала определенным средним значением соседних точек для получения сигнала.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) преобразуют аналоговый сигнал в цифровой сигнал и наоборот соответственно. Подключаемый после ЦАП фильтр нижних частот обеспечивает сглаживание ступенчатого выходного сигнала.

Устройство цифровой обработки сигналов непосредственно выполняет необходимый алгоритм цифровой обработки сигналов. Для реализации такого устройства применяется специализированный процессор цифровой обработки сигналов или интегральная схема с программируемой логикой.

Дальнейшее повышение точности и достоверности результатов измерений можно добиться осуществлением адаптивных измерений в зависимости от изменений и гармонического состава напряжения и тока [8, 9]. Адаптивное измерение параметров может осуществляться с учетом относительных и взаимных значений изменений, а также частот и амплитуд гармонических составляющих. Естественно, при больших напряжениях и мощностях погрешность должна быть еще меньше, иначе неучтенные потери будут значительными.

Как известно, входные цепи в ИИС учета электрической энергии организуются как в виде трансформатора напряжения и тока или датчика напряжения и тока, так и в виде смешанных цепей в зависимости от значения напряжения [7]. Учитывая это, в зависимости от трансформатора или датчиков, используемых для измерения тока и напряжения, структура ИИС будет как показано на рисунках 4 и 5.

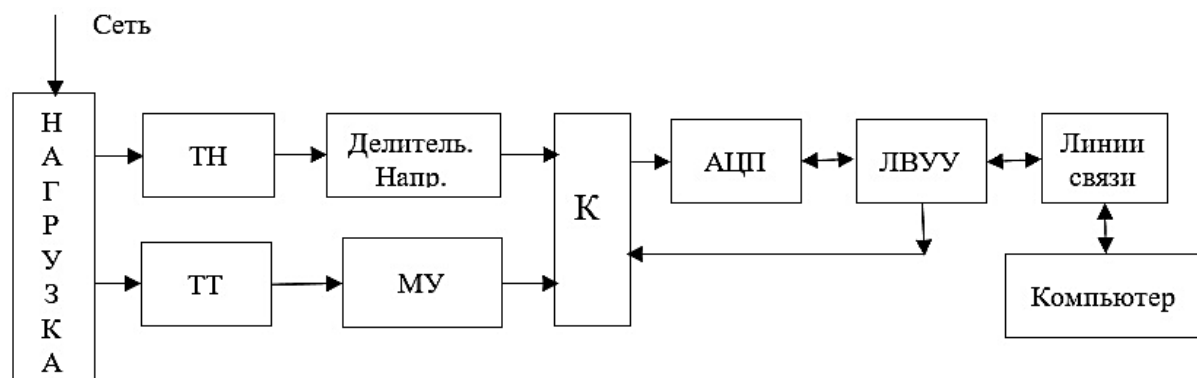
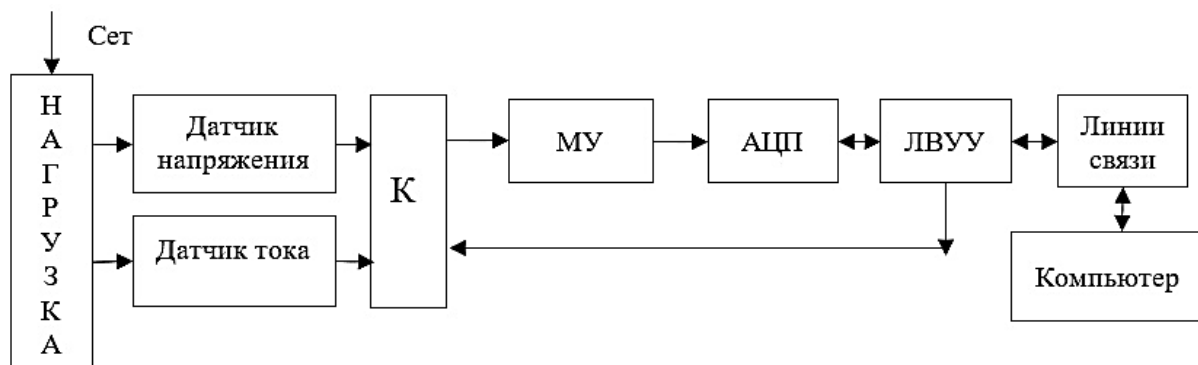


Рисунок 4 – Структура ИИС с трансформаторной входной цепью

На рисунке 4 К – коммутатор; ЛВУУ – локальное вычислительное и управляющее устройство; ДелН – делитель напряжения; МУ – масштабирующий усилитель.

Локальный вычислительно-управляющий блок представляет собой микроконтроллер, предназначенный для сжатия объема информации, передаваемой по линии связи, для предварительной обработки результатов измерений (фильтрации, расчета среднего значения) и для решения различных мелких задач управления на локальном уровне. Его можно использовать для решения задачи самодиагностики на данном уровне.

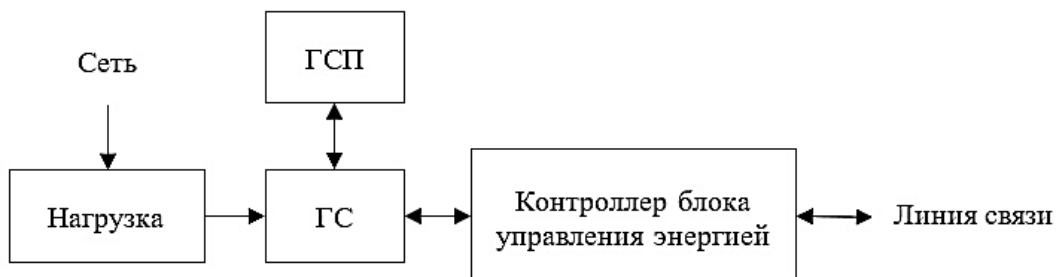
Схема, приведенная на рисунке 5, рассчитана на трехфазную четырехпроводную схему подключения. Функциональные возможности системы позволяют анализировать суточное, ежемесячное и годовое энергопотребление каждого потребителя, а также группы потребителей, составлять соответствующие отчеты и справки для применения штрафных санкций в случае необходимости.



Рисунке 5 – Структура ИИС с входными цепями с датчиками напряжения и тока

Основная задача подсистемы управления энергией (ПУЭ) – экономия энергии и снижение потерь энергии, алгоритм ее работы заключается в управлении энергией путем подключения и отключения солнечных панелей, установленных в местах расположения отдельных счетчиков или размещенных на определенной территории для группы из них, а также путем подключения потребителей в соответствии с их платежами с помощью реле-выключателей, установленных в современных электросчетчиках. Данное управление может быть применено для подключения группы потребителей после аварийных отключений при большой нагрузке в сети, что позволит обеспечить постепенное увеличение нагрузки в сети и тем самым предотвратить случайные повторные включения. При этом в качестве критерия подключения к сети после аварийного отключения может стать минимальные нагрузки на момент отключения в группе или по фазам, в случае однофазной подачи электроэнергии.

При расположении контроллера подсистемы управления энергией непосредственно возле группы счетчиков, а в данном случае она станет блоком управления энергией, структуру части информационно-измерительной системы можно представить, как на рисунке 6.



Рисунке 6 – Структура ИИС с локальным контроллером управления энергией

На рисунке 6 использованы следующие обозначения: ГСП – группа солнечных панелей; ГС – группа счетчиков. Контроллер управления энергией подключает энергию от группы солнечных панелей на работу группы счетчиков. Эти операции выполняются

в зависимости от места расположения счетчиков, времени суток и погодных условий (облачность и т.п.).

Другой вариант построения ПУЭ для ИИС может предусматривать в необходимых случаях применение в устройстве сбора данных группы счетчиков аккумуляторов или небольшого внутреннего источника бесперебойного питания вместе с СП.

Если контроллер управления энергией входит в состав ИИС, в структурной схеме ИИС учета и контроля электроэнергии, образуется подсистема управления энергией. В таком случае структура системы будет такой, как показано на рисунке 7.

Необходимо отметить, что данные блоки и подсистема управления энергией придают дополнительную функцию всему ИИС, повышая эффективность всей системы.

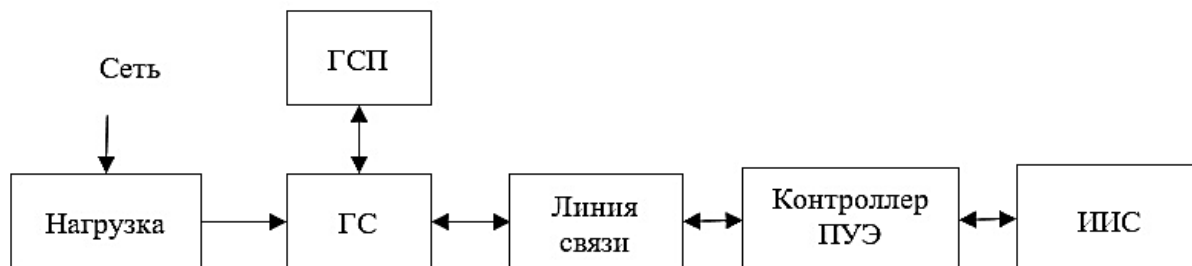


Рисунок 7 – Упрощенная структура ИИС с подсистемой управления энергией

С учетом изложенных выше особенностей построения ИИС контроля и учета электроэнергии с функцией управления энергией, блок-схему алгоритма работы ПУЭ можно описать так, как показано на рисунке 8. В блоке ввода данных вводятся данные и параметры режима каждой солнечной панели и группы солнечных панелей, а также технические показатели счетчиков и группы счетчиков.

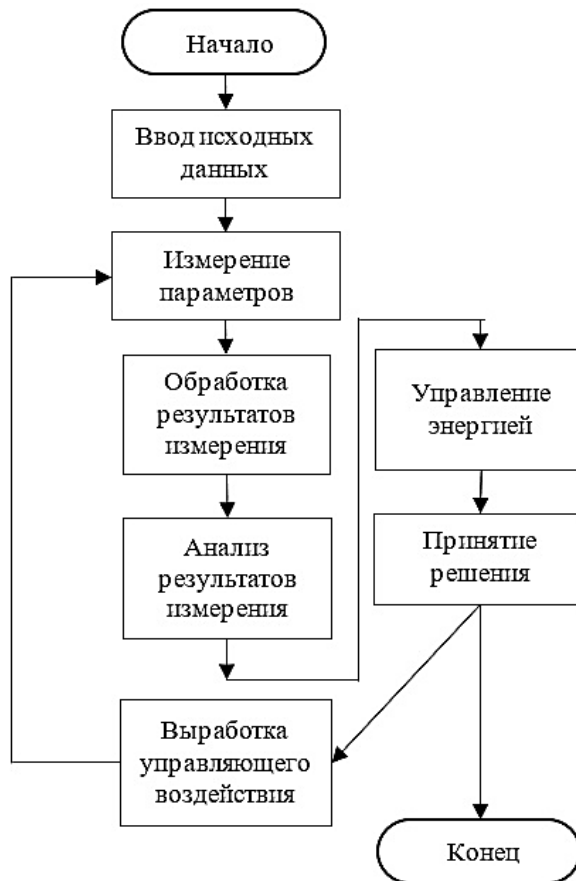


Рисунок 8 – Блок-схема алгоритма работы ПУЭ

Далее выполняются операции измерения параметров всех устройств и анализа результатов измерений. На основе анализа результатов измерений составляется задание на создание управляющего воздействия, обеспечивающего подачу соответствующей энергии на каждый счетчик или группу счетчиков в блоке управления энергией. Затем происходит выработка управляющего воздействия и осуществление данного управления, измеряются необходимые параметры и процесс повторяется по данной последовательности до получения необходимых показателей.

### Выводы

ИИС контроля и учета электрической энергии с подсистемой управления энергией повышает эффективность всей системы. Алгоритм блока (подсистемы) управления энергией позволяет использовать преимущества электронных счетчиков электроэнергии с возможностью коммуникации с цифровым центром управления электросетью с помощью технологии power line communication.

Программа обеспечения средства измерений предусматривает их программирование и просмотр данных в оперативном режиме. Интервалы усреднения результатов измерений показателей качества электроэнергии задаются исходя из графика нагрузок и эксплуатационных требований к оборудованию, подключаемому к сети.

Целесообразно применение современных цифровых счетчиков электрической энергии с внутренним реле-выключателем, которые позволяют отключать потребителей-должников, а также после аварийного отключения подключать потребителей к электросети с учетом нагрузки к сети, используя критерия минимума потребления, что снижает вероятность повторного отключения сети и снизить дополнительные потери энергии.

### Литература

1. Bakshi K.A. Electronic Measurement Systems. – US : Technical Publications, 2008. – 505 p.
2. Babuta, Aniket & Gupta, Bhavna & Kumar, Abhimanyu & Ganguli, Souvik. (2021). Power and energy measurement devices: A review, comparison, discussion, and the future of research. Measurement. 172.108961.10.1016/j.measurement.2020.108961.
3. Genjeyev N.E. Increasing the Accuracy of Electrical Power Measurement. Transactions of Azerbaijan institutes of technology. – Vol. 20. – № 4.
4. Measurement Error Assessment for Smart Electricity Meters Under Extreme Natural Environmental Stresses / Ma, Jun & Teng, Zhaosheng & Tang, Qiu & Qiu, Wei & Yang, Yingying // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2021. – № 1-1.10.1109/TII.2021.3111872.
5. Гянджаев Н.Э. Использование зеленых технологий для повышения энерго-эффективности. Equipment-technologies-materials. – Vaku, 2024. – Vol. 20(06). – Iss. 02.
6. Семёнов А.С. Контроль качества электроэнергии и анализ полученных результатов при измерении напряжения / А.С. Семёнов, В.А. Бондарев, С.А. Заголило // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 9-1. – С. 86–92. – URL : <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41709> (дата обращения 15.06.2024).
7. Теоретические основы информационно-измерительных систем : учебник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Еременко [и др.]; Под ред. чл.-кор. НАН Украины В.П. Бабака. – К., 2014. – 832 с.
8. Управление качеством электроэнергии : учеб. пособие / И.И. Карташев; Под ред. Ю.В. Шарова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – 320 с.
9. Шклярский, Я.Э. Влияние гармонического состава тока и напряжения на мощность искажения / Я.Э. Шклярский, А.А. Брагин, В.С. Добуш // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 4. – с. 26–32.

### References

1. Bakshi K.A. Electronic Measurement Systems. – US : Technical Publications, 2008. – 505 p.
2. Babuta, Aniket & Gupta, Bhavna & Kumar, Abhimanyu & Ganguli, Souvik. (2021). Power and energy measurement devices: A review, comparison, discussion, and the future of research. Measurement. 172.108961.10.1016/j.measurement.2020.108961.
3. Genjeyev N.E. Increasing the Accuracy of Electrical Power Measurement. Transactions of Azerbaijan institutes of technology. – Vol. 20. – № 4.

4. Measurement Error Assessment for Smart Electricity Meters Under Extreme Natural Environmental Stresses / Ma, Jun & Teng, Zhaosheng & Tang, Qiu & Qiu, Wei & Yang, Yingying // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2021. – № 1-1.10.1109/TII.2021.3111872.
5. Gyandzhaev N.E. Ispolzovanie zelenyh tehnologij dlya povysheniya energo-effektivnosti. Equipment-technologies-materials. – Baku, 2024. – Vol. 20(06). – Iss. 02.
6. Semyonov A.S. Kontrol kachestva elektroenergii i analiz poluchennyh rezultatov pri izmerenii napryazheniya / A.S.Semyonov, V.A. Bondarev, S.A. Zagolilo // Fundamentalnye issledovaniya. – 2017. – № 9-1. – С. 86-92. – URL : <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41709> (date of application 15.06.2024).
7. Teoreticheskie osnovy informacionno-izmeritelnyh sistem: Uchebnik / V.P. Babak, S.V. Babak, V.S. Eremenko i dr.; pod red. chl.-kor. NAN Ukrainy V.P. Babaka. – K., 2014. – 832 p.
8. Upravlenie kachestvom elektroenergii: ucheb. posobie / I.I. Kartashev; Edited by Yu.V. Sharova. – M. : Izdatelskij dom MEI, 2016. – 320 p.
9. Shklyarskij Ya.E. Vliyanie garmonicheskogo sostava toka i napryazheniya na moshnost iskazheniya / Ya.E. Shklyarskij, A.A. Bragin, V.S. Dobush // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». – 2012. – № 4. – P. 26–32.