

систем промышленного мониторинга и управления ресурсами и процессами.

Применение WSN многочисленно и разнообразно. Они использованы в коммерчески и промышленных системах для того чтобы контролировать данные которые трудны или дороги контролировать используя связанные проволокой

датчики. WSN можно использовать в труднодоступных районах, где они могут оставаться в течение многих лет (мониторинг окружающей среды) без необходимости замены источников питания. Они могут контролировать действия нарушителей охраняемого объекта.

#### Список литературы

1. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. 312 с.
2. Recommendation Y. 2060. Overview of Internet of Things. ITU-T, Geneva. February 2012.
3. Development of a node-positioning algorithm for wireless sensor networks in 3D Space / I. Grishin, R. Kiricheck, D. Okuneva, M. Falin // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT). 2016. P. 279–282.
4. IEEE 802.15.4 Specification (2006) [SS95552].
5. Kwak, K. S. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard // 3rd International Symposium, Applied Science in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL): Proceedings, 7–10 November, Rome, Italy, 2010. P. 1–6.
6. Gaidamaka Yu. Mathematical Modeling and Performance Analysis of P2P Streaming Networks // INTHITEN (Internet of Things and its Enablers): Proceedings, St. Petersburg, 3–4 June. 2013. P. 69–81.
7. Салим А. Разработка алгоритмов выбора головного узла в кластерных беспроводных сетях. СПб., 2010. 25 с.
8. Динь Ч. З., Киричек Ч. З., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е. Имитационная модель инсталляции сенсоров сквадрокоптерана заданной территории // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 93–100.
9. ITU-T Requirements for support of ubiquitous sensor network (USN) applications and services in the NGN environment. Recommendation Y. 2221 (01/10).
10. ITU-T Sensor control networks and related applications in a next generation network environment. Recommendation Y.2222 (04/13).
11. Zekri M., Jouaber B., Zeghlache D. A review on mobility management and vertical handover solutions over heterogeneous wireless networks // Computer Communications. 2012. Vol. 35. P. 2055–2068.
12. Zahran A. H. Signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks // Mob.Netw.Appl. 2006. Vol. 11. P. 625–640.
13. Wang L., Ranjan R. Processing Distributed Internet of Things Data in Clouds // IEEE Cloud Computing. 2015. Vol. 2, № 1. P. 76–80.
14. Willinger W. Traffic Modeling for High-Speed Networks: Theory versus Practice. Institute for Mathematics and Its Applications. 1995. Vol. 71. 395 p.
15. Yanpei C., Wang T. X., Katz H. R. Energy efficient Ethernet encodings // 33rd IEEE Conference on Local Computer Networks, 2008. IEEE, 2008. P. 122–129.

© А. Ю. Курдюк, С. В. Устюгов, Д. П. Дисяев

#### Ссылка для цитирования:

Мальцева Н.С., Зубова А. Д., Марышева И. Н. Анализ способов построения беспроводных сенсорных сетей // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 2 (24). С. 31–36.

УДК 621 314(075)

## ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

**И. Х. Сиддиков, М. Т. Махсудов, И. М. Хонттураев, М. А. Анарбаев**

*Ташкентский университет информационных технологий*

В настоящее время расширение возможностей передачи электроэнергии потребует усовершенствования управления сетью передач электроэнергии. Такая реорганизация направлена на создание открытого рынка, где альтернативные источники энергии географически отдаленных мест могут легко быть проданы потребителям в любой точке мира. Традиционно электрическая сеть передачи электроэнергии строилась как система односторонней передачи электроэнергии. Она состояла из одной или нескольких очень мощных источников, связанных с потребителями энергии. Переход к новым видам источников электроэнергии и появление новых интеллектуальных устройств контроля и управления, требуют нового подхода - электроэнергия может идти и от потребителей, т.е. в обратную сторону, как фактор, определяющий при проектировании и функционировании систем электроснабжения.

**Ключевые слова:** электроэнергия, источники энергии, система электроснабжения, электрическая сеть, управление, контроль, умные электрические сети.

## ELEMENTS AND CONTROL AND CONTROL DEVICES INTELLIGENT ELECTRICAL NETWORKS OF ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS

**I. Kh. Siddikov, M. T. Makhsudov, I. M. Khonturaev, M. A. Anarbaev**

*Tashkent University of Information Technologies*

In the meantime, expanding the power transmission capabilities will require improvements in the management of the power transmission network. Such a reorganization is aimed at creating an open electricity market, where alternative energy sources of geographically remote locations can easily be sold to consumers anywhere in the world. Classically, electric power transmission network was built as a one-way power transmission system. It consisted of one or several very powerful sources related to energy consumers. The transition to new types of energy sources, especially renewable ones, and emergence of new intelligent control and

management devices require a new approach - electricity can also come from consumers, i.e. in opposite direction, a factor that must be considered when designing power supply systems.

**Keywords:** electric power, energy sources, power supply system, electric network, management, control, smart electric networks.

В распределённых электрических сетях современные возобновляемые источники энергии смогут выработать и реализовать электроэнергию на локальном уровне. Как показали опыт проектирования и эксплуатации, без первичных сигналов контроля и управления, предоставленных первичными измерительными датчиками и программным обеспечением, которые мгновенно реагируют на вызванную ненадежными источниками электроэнергии неустойчивость, может ухудшиться качество функционирования системы электроснабжения [1].

Традиционно электрическая сеть системы электроснабжения всегда строилась как система односторонней передачи электроэнергии. Она состояла из одной или нескольких источников различной мощности, связанных с потребителями энергии. Переход к новым видам источников электроэнергии и появление новых интеллектуальных устройств контроля и управления, требуют иного подхода – электроэнергия может идти и от потребителей, т.е. в обратную сторону. В этом случае на помощь должна прийти технология интеллектуальных электрических сетей (ТИЭС) [2].

ТИЭС поможет решить основные проблемы, стоящие перед энергетическими компаниями и потребителями. ТИЭС – это интеллектуальные элементы и устройства, динамическое управление электрическими сетями передачи электроэнергии, регулирование спроса, повышение безопасности и экономия расходов первичного энергоносителя в будущем, такие элементы и устройства смогут отслеживать потребление энергии со всеми устройствами и электрооборудованиями и поддерживать определенные правила их поведения в часы пиковой нагрузки и в разное время суток. ТИЭС необходима для более полного использования энергии из всех возобновляемых источников для их объединения с существующей энергетической инфраструктурой. По своему значению ТИЭС так же важна, как и сами источники энергии [2–4].

ТИЭС дадут возможность оборудованию и системам производства электроэнергии работать с большим количеством ресурсов энергии. Значительное развитие ТИЭС было обусловлено не только проблемами в сфере энергосбережения и энергоэффективности, но и полностью установленными задачами, которые необходимо было немедленно разрешать. Нужно всегда использовать момент с самым мощным источником, чтобы выработать и передать максимум электроэнергии в электрическую сеть системы электроснабжения. Использование ТИЭС должно решить данные трудности. Цель исследова-

ния усугубляется, если в ТИЭС много разных и тяжело контролируемых источников возобновляемых энергии [5–7].

Однако ТИЭС призваны упростить поставленную задачу контроля и автоматизации на основе современных элементов и устройств. Благодаря им возможно использование большего количества генерирующих источников электроэнергии в различные периоды времени и требования потребителей [2]. Помимо этого, описанная технология дает возможность группировать в электрическую сеть различные источники энергии – к примеру: солнечную и ветровую энергоустановки. Такие «умные сети» ведут управление производством электроэнергии с изменением климата и сокращают потери электроэнергии. Благодаря этому ТИЭС имеют огромный интерес для большинства систем электроснабжения [8–10].

ТИЭС необходима для решения таких проблем, как экономия энергоресурсов, энергосбережение и обеспечение непрерывного энергоснабжения. Как показал анализ, имеющаяся система электроснабжения с односторонним направлением от источника на потребителя электроэнергии стала неактуальной, на физическом уровне изношена и никак не может эффективно разрешить инновационные задачи. Производители электроэнергии убеждены в потребности создания новейшей системы электроснабжения, непосредственно на основе активно-адаптивных ТИЭС [4–10].

Структура (рис. 1), присущая к энергетической системе обеспечивает подключение и к узлам системы электроснабжения (подстанции). Каждый узел системы электроснабжения подключается к линии электропередач (R1-R5). Это позволяет измерять и контролировать перетоки электроэнергии и напряжение в каждой точке, реализовать дистанционное управление параметрами и величины ИЭС, посредством сети интернет.

Система накопителей электроэнергии ИЭС состоит из 3-фазных двунаправленных инверторов, которые могут как заряжать, так и разряжать накопители. Накопительные элементы состоят из: Li-ion батареи в качестве источника электроэнергии. Также в ИЭС имеются суперконденсатор для потребителей пикового потребления электроэнергии. Экономичный и высокоэффективный без инверторного подключения в ИЭС гидрогенератора, дизельгенератора и пикового накопителя компенсатора электроэнергии дает очевидный возможность, при этом внешняя электрическая сеть будет иметь 3-фазный выпрямитель (AC / DC) 3-фазный инвертор (DC / AC).

На рисунках 1 и 2 представлены структура адаптивного управления ИЭС с гибридными источниками электроэнергии и имитационная

модель, выполненная на программном комплексе Proteus Professional 8.4 [14–15].

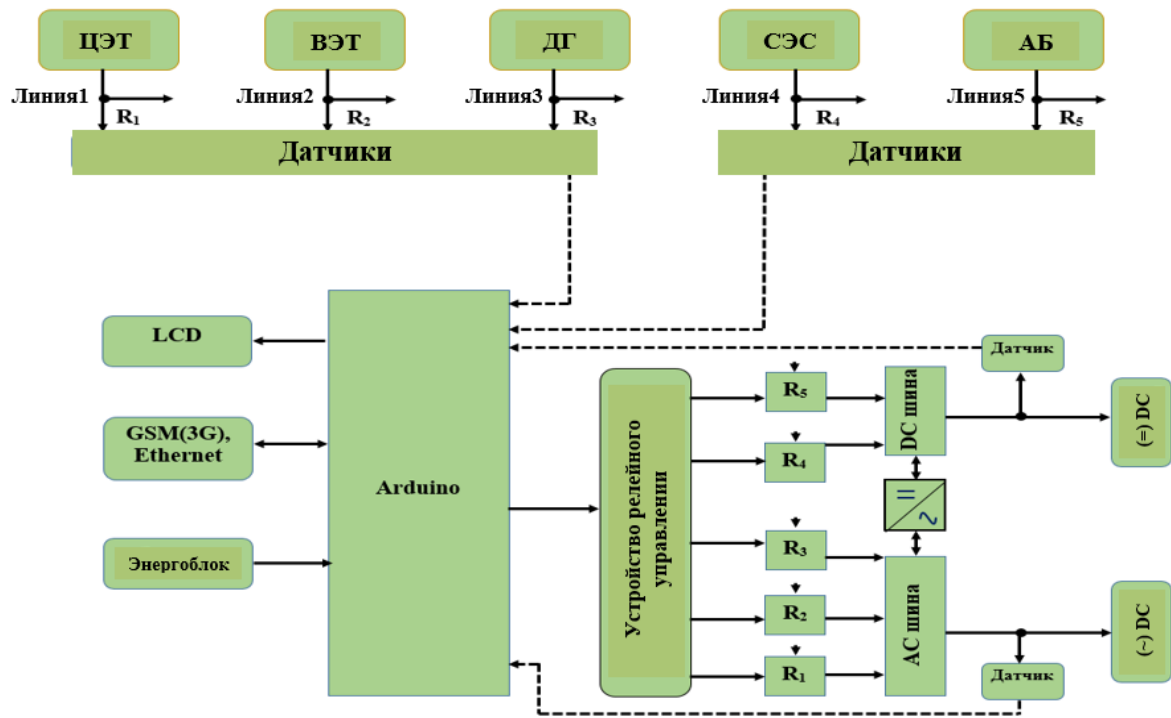


Рис. 1. Структура адаптивного управления ИЭС с гибридными источниками электроэнергии:

ЦЭТ – централизованная электрическая система, ВЭТ – ветряная электрическая станция, СЭС – солнечная электрическая станция, ДГ – дизель генератор, АБ – аккумуляторная батарея

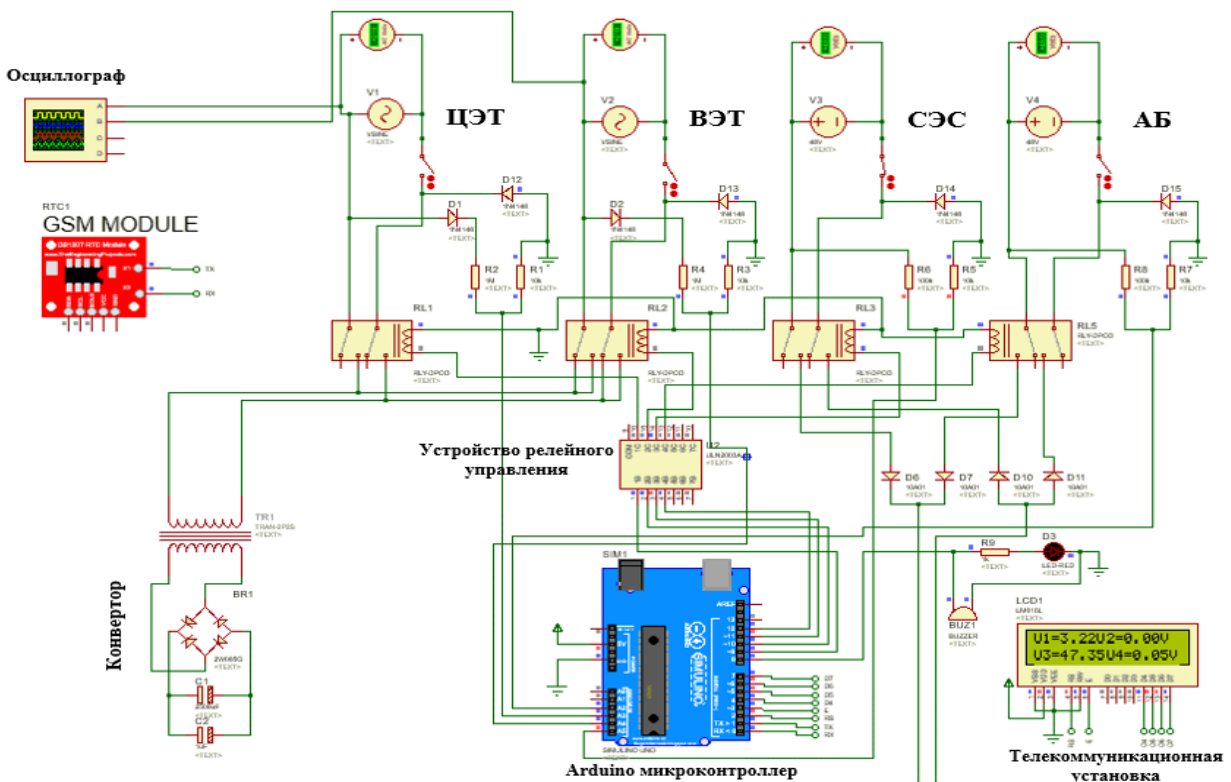


Рис. 2. Имитационная модель управления ИЭС с гибридными источниками электроэнергии на программном комплексе Proteus Professional 8.4

Взаимосвязь между физическими величинами и выходными сигналами устройство релейного управления определяется на основе следующего аналитического выражения:

$$U_{\text{э2}} = W(V_1(G \cdot U_{\text{цэс}}), V_2(K_{\text{э1}} \cdot K_{\text{сэ}} \cdot E_{\text{сэс}}), V_3(K_{\text{э2}} \cdot K_{\text{вэ}} \cdot E_{\text{вэс}}), V_4(K_{\text{э3}} \cdot K_{\text{дэ}} \cdot E_{\text{дг}}), V_5(K_{\text{э4}} \cdot K_{\text{аб}} \cdot E_{\text{аб}})), \quad (1)$$

где  $W = W_{\mu}[\Phi_{\text{в}}, \Phi_{\text{дг}}(x)] \cdot K[\Phi_{\text{дг}}(x), U_{\text{э2}}] \cdot G_{\mu} \cdot w$  – передаточная функция датчика;  $V_1(G \cdot U_{\text{цэс}})$ ,  $V_2(K_{\text{э1}} \cdot K_{\text{сэ}} \cdot E_{\text{сэс}})$ ,  $V_3(K_{\text{э2}} \cdot K_{\text{вэ}} \cdot E_{\text{вэс}})$ ,  $V_4(K_{\text{э3}} \cdot K_{\text{дэ}} \cdot E_{\text{дг}})$  и  $V_5(K_{\text{э4}} \cdot K_{\text{аб}} \cdot E_{\text{аб}})$  – вероятность подключения блока управления к источнику энергии: солнечных панелей, ветровой электростанции, дизельных генераторов и аккумуляторных батарей при адаптивном управлении.

При применении в качестве основного источника системы источников централизованного энергоснабжения, аналитическое выражение выходного сигнала управления на основе (1) имеет следующий вид:

$$U_{\text{э2}} = W(V_1(G \cdot U_{\text{цэс}})) = 4,44 \cdot f \cdot w_{\text{кт}} \cdot \frac{I_{\text{э1}} \cdot w_{\text{ч.э}}}{\frac{\sum I_{\text{мп}}}{\mu \mu_0 S_{\text{мп}}} + \frac{\sum I_{\text{в.з}}}{\mu_0 S_{\text{ч.э}}}}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{э1}}$  – первичный электрический ток;  $w_{\text{кт}}$  – обмотка возбуждения, ( $w_{\text{кт}} = 1$ );  $f$  – частота;  $w_{\text{ч.э}}$  – количество витков чувствительного элемента ( $w_{\text{ч.э}} = 1-20$ );  $\sum I_{\text{мп}}$  – длина стальной части магнитопровода;  $\sum I_{\text{в.з}}$  – длина воздушного зазора;  $S_{\text{мп}}$  – сечение магнитопровода;  $S_{\text{ч.э}}$  – сечение чувствительного элемента.

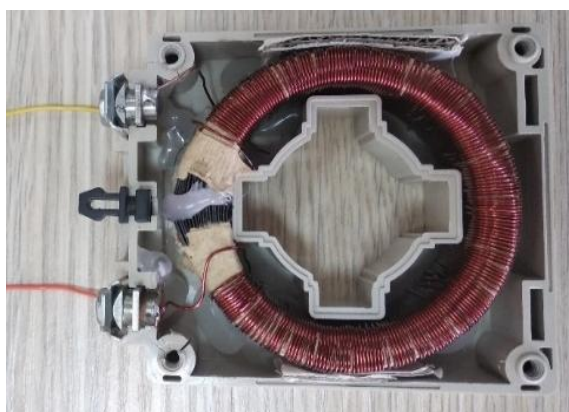
При изменении возможностей источников системы электроснабжения и при переходе на другие источники электроснабжения по требованию к бесперебойности «информационно-

измерительного блока», которые не оказывают влияния на деятельность электропотребителя, является одним из основных показателей датчика управления и контроля. Чувствительность датчика определяется соотношением выходного напряжения сигнала к входному току, при этом коэффициенты чувствительности  $K_1$  и  $K_2$ , соответствующие значению воздушного зазора магнитопровода 0,002 м и 0,04 м имеют следующие значения:

$$K_1 = 1,2 \frac{\text{мВ}}{\text{А}}; \quad K_2 = 0,2 \frac{\text{мВ}}{\text{А}}. \quad (3)$$

В имитационной модели в качестве источников энергии рассмотрены централизованное электроснабжение (ЦЭС), ветровая электростанция (ВЭС), солнечная электростанция (СЭС) и аккумуляторная батарея (АБ). Из них ЦЭС и ВЭС соединяются в систему с помощью конвертера, а СЭС и АБ непосредственно подключены к реле устройства управления. Микроконтроллер Arduino определен как основной элемент управления и управляет реле R1-R4 посредством реле устройства управления на основе данных, предоставляемых датчиками Д1-Д4 и потребностей, телекоммуникационного оборудования. В модели осуществляется передача на сервер сигнала о мониторинге соответствующих данных через модуль GSM для прогнозирования объемов произведенной энергии, планирования энергии и мониторинга состояния источников, а также потребителей энергии [6, 7, 12, 13].

На рисунках 3 и 4 представлены датчики ИЭС, измеряющие показатели в реальном времени для оценки состояния конструкции электрической сети и результаты их исследование [3, 4, 8].



а)



б)

Рис. 3. Датчики, измеряющие показатели в реальном масштабе времени: а) датчик переменного тока, б) датчик постоянного тока

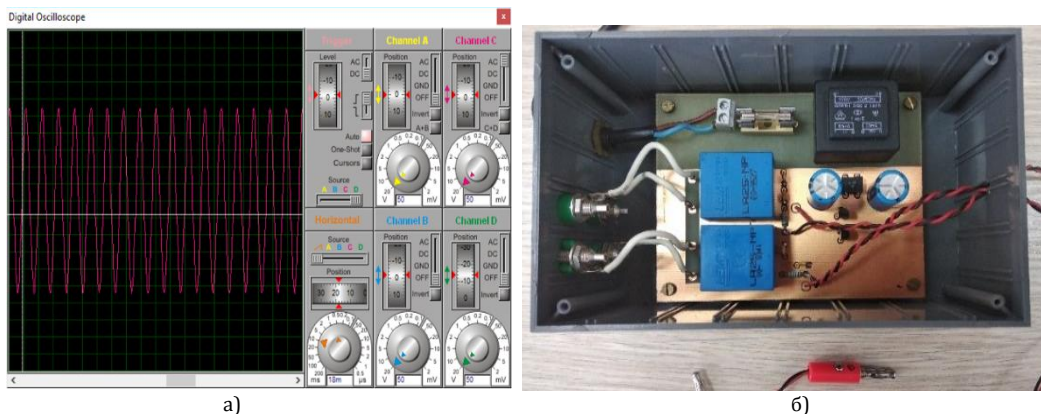


Рис. 4. Результаты исследования: а) от датчика переменного тока, б) от датчика постоянного тока

В соответствии с требованиями системы электроснабжения на основе имитационной модели разработан алгоритм для адаптивного управления источниками энергии микроконтроллером (рис. 5). Использование алгоритма при управлении источниками энергии и распределение потоков сигналов об энергии обеспечивает непрерывное энергоснабжение устройств и потребителей. Алгоритм адаптивного управления гибридными источниками энергоснабжения при обеспечении

непрерывной передачи энергии телекоммуникационным устройствам базируется на уравнении баланса энергии:

$$P_{ЦЭС}(t) + P_{СЭС}(t) + P_{ВЭС}(t) + P_{ДГ}(t) + P_{АБ}(t) = P_H(t), \quad (4)$$

где  $P_{ЦЭС}(t)$ ,  $P_{СЭС}(t)$ ,  $P_{ВЭС}(t)$ ,  $P_{ДГ}(t)$ ,  $P_{АБ}(t)$  – значения мощности, произведенной источниками ЦЭС, СЭС, ВЭС, ДГ, АБ;  $P_H(t)$  – значение мощности электрической нагрузки.

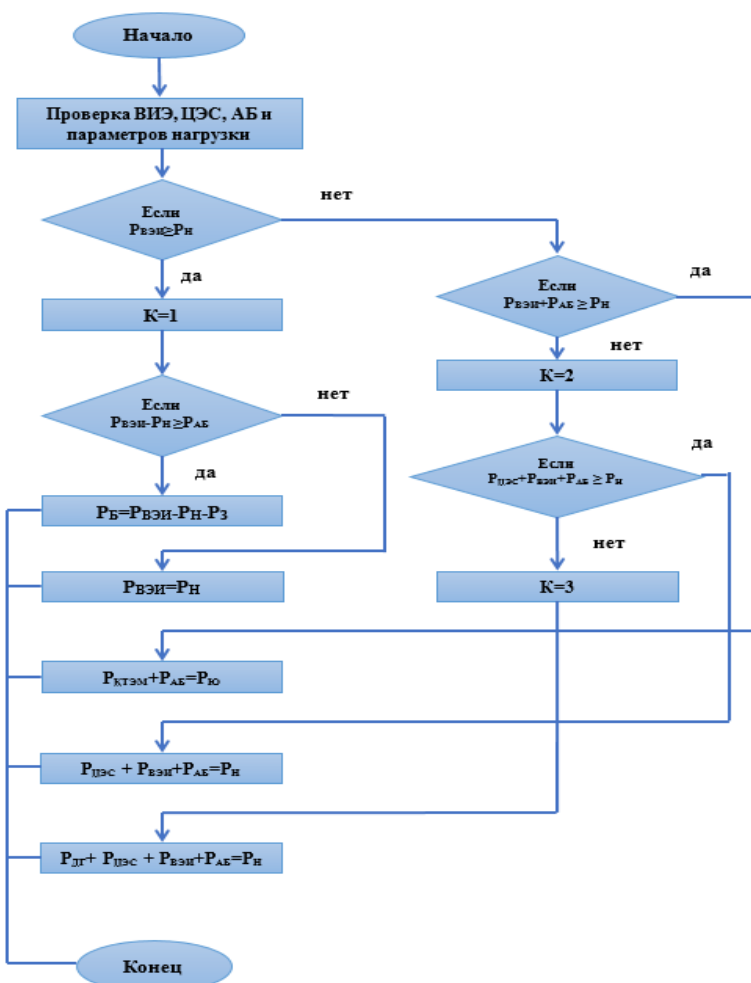


Рис. 5. Алгоритм адаптивного управления в зависимости от тока нагрузки потребителя

Управление гибридными источниками энергоснабжения осуществляется микроконтроллерным блоком управления на основании сигналов, переданных мониторинговому серверу об объёме выработанной источниками и потребленной нагрузкой энергий, а также состояния заряда аккумуляторов и продолжительности использования источников. Сбор данных мониторинга и их обработка осуществляется по схеме, приведенной на рисунке 5.

При этом данные мониторинга накапливаются в базе данных сервера мониторинга и в случае необходимости предоставляются обслуживающему персоналу посредством Ethernet протокола в виде веб-страницы в сети Интернет или GSM модуля в виде SMS-сообщения и в необходимых форматах. На основании состояний источников энергии, система мониторинга даёт возможность оценки их эксплуатационных характеристик, определения необходимости ремонта, выявления причин сбоя и оперативного их устранения.

Построение блока автоматизированного управления и датчиков системы адаптивного управления источниками энергии, разработка

и применение устройства мониторинга позволяют обеспечить непрерывность работы систем электроснабжения, адаптируемость к источникам блока управления, а удобный интерфейс управления позволят обеспечить высокую точность и оперативность управления.

Как показали результаты моделирования и исследования электроснабжения с централизованной электрической системой, возобновляемых источников энергии как солнечной и ветряной установками и аккумуляторной батареей, позволяет повышать надежность и бесперебойность систем энергоснабжения, а также значительно сократить потери, более эффективно использовать, интегрировать и распределять производимую электроэнергию. Имитационная модель управления гибридными источниками электроэнергии на программном комплексе Proteus Professional 8.4 позволила в автоматическом режиме диагностировать и устранять возникающие проблемы обеспечения качественной электроэнергией при совместной работе источников энергии.

#### Список литературы

1. Сиддиков И. Х., Абдуллаева С. М., Борисова Е. А. Мероприятия по улучшению показателей качества электрической энергии в 3-х фазных электрических сетях // Вестник ТУИТ, Ташкент. 2015. № 3 (35) С. 196–200.
2. Сиддиков И. Х., Кодиров Ф. М., Мирзаева М. Б., Усманиев С. У. Исследование комбинированных источников электроснабжения устройств информационных технологии // Химическая технология. Контроль и управление. Ташкент, 2015. № 6. С. 42–47.
3. Siddikov I. Kh, Sattarov Kh. A., Khujamatov Kh. E. Research of the Influence of Nonlinear Primary Magnetization Curves of Magnetic Circuits of Electromagnetic Transducers of the Three-phases Current // Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering. Horizon Research Publishing Corporation, USA. 2016. Vol. 4 (1). P. 29–32.
4. Siddikov I. Kh., Sattarov Kh. A., Khujamatov Kh. E., Dekhkonov O. R. Modeling the processes in magnetic circuits of electromagnetic transducers // International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2016. 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> of November 2016, Tashkent, Uzbekistan.
5. Khujamatov Kh. E. The quality of electrical energy in the three-phase electric networks // Проблемы и достижения современной науки : мат-лы III Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 15–16 мая 2016. С. 154–156.
6. Khujamatov Kh. E., Sattarov Kh. A., Najmidinov Kh. A., Anarbayev M. A. Modeling and researching of the processes of control of hybrid power supply systems // Информационные технологии и моделирование процессов в фундаментальных и прикладных исследованиях : мат-лы I Междунар. молодежной школы-конф. Астрахань 15–17 декабря 2016. С. 151–157.
7. Сиддиков И. Х., Хужаматов Х. Э., Саттаров Х. А., Нажмиддинов К. М. Моделирование и исследование управления электроэнергетическими системами и объектами // Информационные технологии и моделирование процессов в фундаментальных и прикладных исследованиях : мат-лы I Междунар. молодежной школы-конф. Астрахань 15–17 декабря 2016. С. 157–165.
8. Сиддиков И. Х., Хужаматов Х. Э., Хонтураев И. М. Современные элементы и устройства контроля одно-и трехфазного электрического тока // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи-развитию науки и образование : мат-лы VI Междунар. науч. форума молодых ученых, студентов и школьников. Астрахань 25–27 апреля 2017. С. 119–121.
9. Сиддиков И. Х., Хужаматов Х. Э., Рахронова Г. Х. Управляемые гибридные источники электроснабжения для объектов телекоммуникации // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи-развитию науки и образование : мат-лы VI Междунар. науч. форума молодых ученых, студентов и школьников. Астрахань 25–27 апреля 2017. С. 121–123.
10. Сиддиков И. Х., Саттаров Х. А., Х.Э. Хужаматов. Энергоинформационный метод разработки и исследования преобразователей автоматического управления параметрами трехфазного электрического тока систем электроснабжения // Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва оптималлаштиришнинг долзарб муаммолари. Халқаро илмий-техникавий конференция маърузалар тўплами. Қарши, 2017. 28–33 бетлар.
11. Siddikov I. Kh., Khujamatov Kh. E., Sherjanova K. S. The principle of desing of electromagnetic transducers of one, three and multi - phases current of electrical nets to secondary voltage // Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации : мат-лы XXXII Междунар. науч.-практ. интернет-конф. 31 январь 2018 г. Переяслав – Хмельницкий. С. 468–472.
12. Siddikov I. Kh., Sattarov Kh. A., Khujamatov Kh. E., Sherjanova K. S. Modeling of the elements and devices of energy control systems // Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации : мат-лы XXXII Междунар. науч.-практ. интернет-конф. 31 январь 2018 г. Переяслав – Хмельницкий. С. 466–468.
13. Сиддиков И. Х., Хужаматов Х. Э., Нажмиддинов К. М., Ахунов Ф. И., Анарбаев М. А., Саидова Г. А., Мирзоев Н. Н., Агзамова М. Р. Моделирование и расчет цепей преобразования электромагнитных преобразователей тока и напряжения с сосредоточенными и распределенными параметрами и величинами // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи-развитию науки и образование : мат-лы VII Междунар. науч. форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников. Астрахань 7–8 мая 2018 г. С. 138–143.



14. Сиддиков И. Х., Хужаматов Х. Э. Программное обеспечение расчета цепей преобразования электромагнитных преобразователей тока в напряжения с распределенными параметрами и величинами // № DGU 05479 Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Ташкент, 01.05.2018.

15. Сиддиков И. Х., Хужаматов Х. Э. Программное обеспечение для выбора номинального значения мощности источников реактивной электроэнергии // № DGU 05354 Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Ташкент, 01.05.2018.

16. Сиддиков И. Х., Хужаматов Х. Э. Программное обеспечение управления гибридными источниками электроэнергии на основе учета потребителей // № DGU 05353 Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Ташкент, 25.06.2018.

© А. Ю. Курдюк, С. В. Устюгов, Д. П. Дисяев

**Ссылка для цитирования:**

Сиддиков И. Х., Махсудов М. Т., Хонтураев И. М., Анарбаев М. А. Элементы и устройства управления и контроля интеллектуальных электрических сетей систем электроснабжения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 2 (24). С. 36–42.