

*Т. Т. Оморов, Б. К. Такырбашев, К. Э. Закиряев, А. Г. Боронин,
Ж. С. Иманакунова, Т. М. Жолдошов*

ЭНЕРГЕТИКА ЖАНА УНАА
ЭНЕРГЕТИКА И ТРАНСПОРТ
ENERGY AND TRANSPORT

УДК 620.9:658.011.56

**БӨЛҮШТҮРҮҮ ТАРМАКТАРЫНДА ЭЛЕКТР
ЭНЕРГИЯСЫН КӨЗӨМӨЛДӨӨ ЖАНА ЭСЕПТӨӨ
ЗАМАНБАП МААЛЫМАТТЫК СИСТЕМАЛАРЫН
ӨРКҮНДӨТҮҮНҮН КОНЦЕПЦИЯСЫ**

**КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**

**THE CONCEPT OF IMPROVEMENT OF MODERN
INFORMATION SYSTEMS OF CONTROL AND
ACCOUNTING OF ELECTRICITY IN
DISTRIBUTION NETWORKS**

*Т. Т. Оморов, Б. К. Такырбашев, К. Э. Закиряев, А. Г. Боронин,
Ж. С. Иманакунова, Т. М. Жолдошов*

*T. T. Omorov, B. K. Takyrbashev, K. E. Zakiriaeve, A. G. Boronin,
Zh. S. Imanakunova, T. M. Zholdoshov*

Чыңалуусу 0,4 кВ түзгөн бөлүштүрүүчү тармактарында электрэнергиясын көзөмөлдөө жана эсептөө автоматташтырылган системаларын (ЭКЭАС) активдүү жана кеңири колдонулушуна карабастан, жоготуулар дагы эле болсо жогорку деңгээлде болууда, бул жоготуулар бөлүштүрүү тармактарына берилген электрэнергиянын жалпы көлөмүнүн 12% нен ашыгыраак өлчөмдү түзүүдө. Ушуга байланыштуу иштин негизги максаты болуп, алардын курамына электр энергиясынын техникалык жана коммерциялык жоготууларын олуттуу кыскартууга багытталган жаңы кошумча маалыматтык чакан подсистемаларды камтыган программалык-аппараттык системаларды өркүндөтүү боюнча концепцияны калыптандыруу саналат. Мындай мамиле практикада колдонулган заманбап ЭКЭАСтардын

эффективдүүлүгүн олуттуу жогорулатууга, ошондой эле БТнын жана бөлүштүрүүчү компаниялардын экономикалык көрсөткүчтөрүн жакшыртууга мүмкүндүк берет. Жаңы подсистемалардын түзүмү боюнча сунуштар иштелип чыккан, анын ичинде, атап айтканда, фазалык жүктөмдөрдү теңдөө жолу менен бөлүштүрүүчү системанын иштөө режимдерин оптималдаштыруу, реалдуу убакыт режиминде тармактарда электр энергиясын уруксатсыз алуу (уурдоо) жерлерин аныктоо сыяктуу функционалдык милдеттер саналат.

Несмотря на активное и широкое внедрение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) в распределительных сетях (РС) напряжением 0,4 кВ, потери электроэнергии в них остаются достаточно высокими и в настоящее время составляют более 12% от общего объема электроэнергии, поступающей на входы РС. В связи с этим основной целью работы является формирование концепции совершенствования указанных программно-аппаратных комплексов, включающих в своих составах новые дополнительные информационные подсистемы, ориентированные для существенного сокращения технических и коммерческих потерь электроэнергии. Такой подход позволяет значительно повысить эффективность используемых на практике современных АСКУЭ, а также улучшить экономические показатели РС и распределительных компаний. Сформулированы предложения по структурам новых подсистем, включающих, в частности, такие функциональные задачи, как оптимизация режимов работы РС за счет симметрирования фазных нагрузок, выявление и идентификация мест несанкционированных отборов (хищений) электроэнергии в сетях в режиме реального времени.

Despite the active and widespread introduction of automated control and metering systems of electricity (ACMSE) in distribution networks (DN) with a voltage of 0.4 kV, power losses in them remain quite high and currently account for more than 12% of the total electricity supplied to the DN inputs. In this regard, the main goal of the work is to form a concept for improving the specified software and hardware systems, which include new additional information subsystems aimed at significantly reducing technical and commercial losses of electricity. This approach makes it possible to significantly increase the efficiency of modern ACMSEs used in practice, as well as to improve the economic performance of DNs and distribution companies. Proposals are formulated on the structures of new subsystems, including, in particular, such functional tasks as optimizing the operating modes of the distribution system by balancing phase loads, identifying and identifying places of unauthorized withdrawals (theft) of electricity in networks in real time.

Түйүн сөздөр: электр энергиясын бөлүштүрүү тарамы; электр энергиясындагы жоготуулар; ЭКЭА системаларын өркүндөтүү концепциясы.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть; потери электроэнергии; концепция совершенствования современных АСКУЭ.

Keywords: *power distribution network; power losses; concept of AC-MSE improvement.*

Введение

В настоящее время в целях автоматизации и цифровизации информационных процессов в распределительных сетях активно внедряются новые технологии в виде автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) [1, 2], которые можно рассматривать как элементы технологии Smart Grid [3, 4]. Несмотря на это, уровни потерь электроэнергии в РС остаются достаточно высокими, которые в последние годы составляют более 1,5 млрд кВт*час. Для сравнения – потери электроэнергии в развитых странах в среднем составляют 6 –7%. Отсюда следует, что имеется значительный потенциал для их сокращения на основе использования новых современных технологий и дальнейшего совершенствования системы контроля и учета электроэнергии республики. Можно отметить, что одна из целей внедрения программно-аппаратных комплексов АСКУЭ – существенное сокращение потерь электроэнергии в РС. Однако практика их использования показала, что они не в достаточной степени обеспечивают желаемого уровня потерь электроэнергии, так как эти автоматизированные системы в основном предназначены для коммерческого учета электроэнергии. Анализ показывает, что для значительного сокращения потерь электроэнергии в РС необходимо дополнительно решать комплекс задач, связанных с оптимизацией режимов работы объектов [5-8], диагностикой критических состояний распределительных сетей [9-11], включая идентификацию мест несанкционированных отборов (хищений) электроэнергии (НОЭ) [12 - 14], а также мониторингом потерь электроэнергии [15, 16] в режиме реального времени. Отмеченные задачи в существующих (традиционных) АСКУЭ не решаются. Целью работы является формирование концепции совершенствования указанных выше программно-аппаратных комплексов, включающих в своих составах новые дополнительные информационные подсистемы, ориентированные для существенного сокращения технических и коммерче-

ских потерь электроэнергии. В связи с этим в лаборатории «Адаптивные и интеллектуальные системы» Института машиноведения и автоматики НАН КР разработаны научные основы решения указанных выше задач и на их основе создаются цифровые технологии их реализации [7, 8, 11-13, 15, 16].

Проблемы автоматизации и информатизации процессов энергопотребления в распределительных сетях

Потери электроэнергии в РС обусловлены рядом факторов, таких как: несимметрия токов и напряжений [5,17]; несанкционированные отборы (хищения) электроэнергии (НОЭ) в РС [14,18]; нелинейные свойства нагрузок абонентов сети [17,19]; превышение критических уровней износа проводов магистральных линий сетей. Эти факторы приводят к отклонению работы РС от их оптимальных режимов. Несимметричность РС является следствием разбалансировки нагрузок и неравномерного их распределения по трехфазной сети, что является одним из главных факторов, приводящих к повышенным потерям активной мощности в сетях и трансформаторных подстанциях. По данным научных исследований, в линиях с распределенной нагрузкой при относительном отклонении токов фаз от их среднего значения в диапазоне 0,3 – 0,5 технические потери возрастают в среднем на 35%. Результаты экспериментальных исследований по определению потерь электроэнергии в системах электроснабжения индивидуального жилищного строительства показывают, что технические потери от несимметрии в линиях электропередачи и трансформаторной подстанции составляют более 6% от общего объема потребляемой электроэнергии в РС [20]. При этом ухудшается качество электроэнергии, а также увеличивается вероятность выхода из строя бытовой техники и промышленных установок. Для решения проблемы симметрирования распределителей предложен ряд технологий [5, 21-23], которые не нашли широкого практического применения из-за их сложности технической реализации. В частности, симметрирующие устройства со специальными трансформаторами в сетях 0,4 кВ в нашей республике не используются, так как они являются источниками технических потерь элек-

троэнергии в сетях, а также сложными техническими системами и имеют достаточно высокую стоимость. В рамках борьбы с указанными выше нежелательными факторами наиболее перспективным является использование потенциальных возможностей программно-аппаратных комплексов АСКУЭ, создаваемых на основе цифровых технологий. Такие информационные системы разработаны рядом зарубежных фирм, таких как АО ГК «Системы и Технологии», концерн «Энергомера», АО НПО «ЛЕМЗ», НПО «МИР» (Россия), ADD Grup (Молдова), Yitran (Израиль), HexingElectricalCo.Ltd. (КНР), SigmaTelas (Литва) [24-30]. В распредсетях КР в настоящее время активно внедряются разработки ADD Grup (Молдова), НПО «МИР» (Россия) и SigmaTelas (Литва). Необходимо отметить, что современные АСКУЭ создаются с использованием технологий AIM, MDM и APM [26, 27, 30].

Традиционные АСКУЭ имеют ряд достоинств, к которым, в частности, можно отнести:

- процессы сбора данных с приборов учета электроэнергии осуществляются в автоматическом режиме;
- устраняются коррупционные схемы, связанные с человеческими факторами при сборе данных об энергопотреблении;
- при несвоевременной оплате за использованную электроэнергию и превышение установленного лимита по потребляемой мощности автоматически отключаются нагрузки потребителей.

Анализ внедрения традиционных АСКУЭ на объектах распредкомпаний республики показывает, что в их составе отсутствуют алгоритмы и цифровые технологии, необходимые для решения оптимизационных и диагностических задач. К числу последних можно отнести следующие задачи:

- управление техническими потерями электроэнергии, обеспечивающее оптимизацию режимов работы распредсетей;
- выявление и идентификация координат несанкционированных отборов (хищений) электроэнергии (НОЭ);

- идентификация и непрерывный мониторинг технических и коммерческих потерь электроэнергии в сети;
- диагностика состояний проводов межабонентских участков магистральной линии РС.

Анализ показывает, что решение указанных задач в составе АСКУЭ позволяет значительно сократить технические и коммерческие потери электроэнергии, а также повысить качество электроэнергии в РС. В связи с этим возникает необходимость разработки новых методов и цифровых технологий, ориентированных на совершенствование традиционных АСКУЭ, используемых в распределительных сетях. Один из возможных подходов в этом направлении – это создание информационной системы управления (ИСУ) потерями электроэнергии в РС на платформе (базе) традиционных АСКУЭ, предназначенной для решения оптимизационных, диагностических и мониторинговых задач в РС.

Структура информационной системы управления

В соответствии с концепцией построения ИСУ в ее составе решаются следующие функциональные задачи:

- 1) автоматическое управление техническими потерями электроэнергии в распределительной сети, функционирующей в несимметричном режиме;
- 2) идентификация и непрерывный мониторинг технических и коммерческих потерь электроэнергии в сети в режиме реального времени;
- 3) диагностика критических состояний распределительной сети, включающая задачи идентификации координат несанкционированных потребителей и оценки уровня износа проводов межабонентских участков магистральной линии сети.

Структура ИСУ показана на рисунке 1.

Подсистема УПЭ технически реализуется посредством цифрового регулятора (ЦР) [31,32], структура которой показана на рисунке 2.

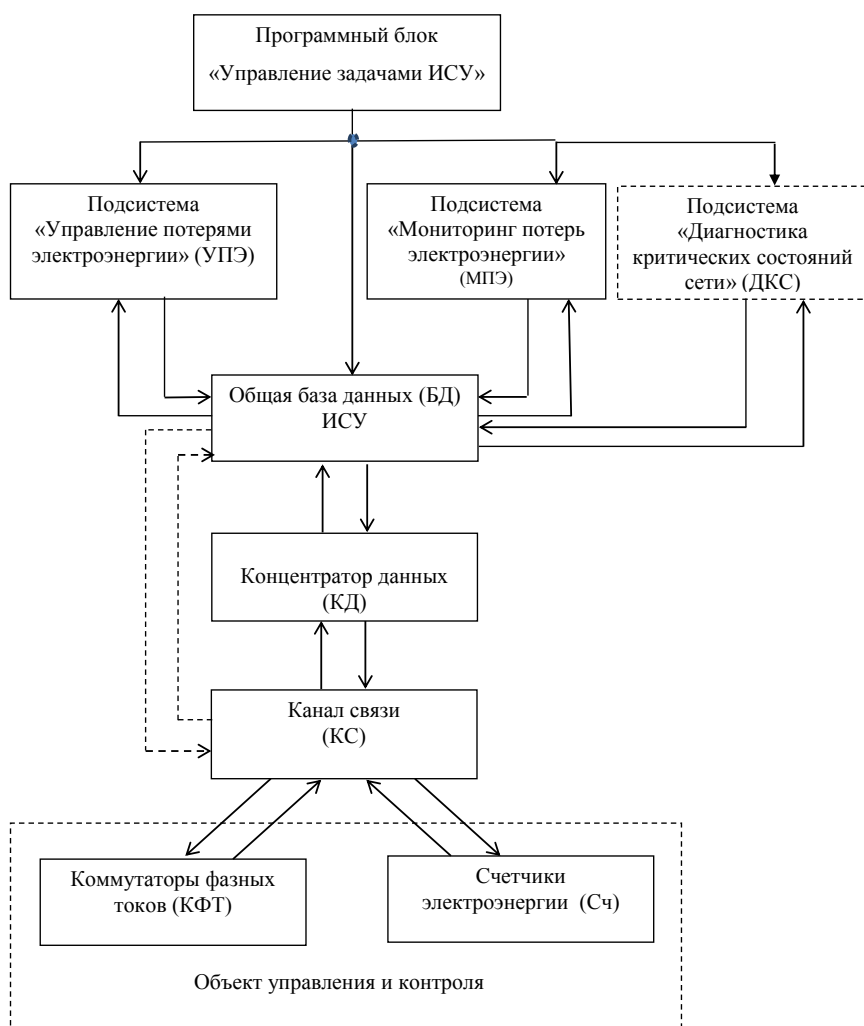


Рисунок 1 – Структура ИСУ

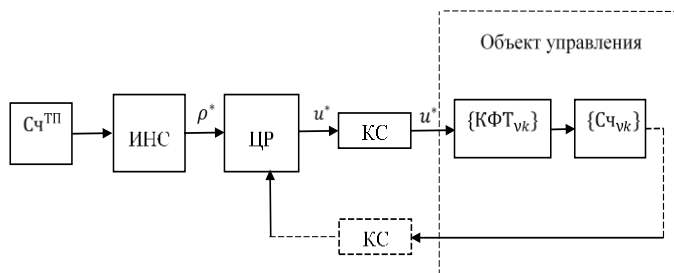


Рисунок 2 – Функциональная структура подсистемы УПЭ

Можно отметить, что группа нагрузок абонентов сети, к которым подключены счетчики электроэнергии $Сч_{vk}$, совместно с исполнительными элементами ИСУ представляет собой объект управления. Ключевым функциональным блоком системы является цифровой регулятор (ЦР), построенный на основе микропроцессорного контроллера. Блок ЦР на основе специального алгоритма (закона управления) формирует управляющие воздействия u^* на объект. Программа работы ЦР формируется идентификатором начального состояния (ИНС) автоматической системы в виде задающего воздействия ρ^* . При этом сигнал управления u^* представляет собой командный цифровой код, который формируется в виде вектора $u^* = [\Phi_1, \Phi_2, \beta]$, где Φ_1, Φ_2 – номера (наименования) пары фаз, в которых необходимо осуществить переключение абонентов сети с более нагруженной фазы (Φ_1) на менее нагруженную (Φ_2); β – вектор, составленный из координат (адресов) абонентов фазы Φ_1 , подлежащих к переключению. Этот управляющий сигнал u^* по каналу связи (КС) передается на исполнительные элементы системы, в качестве которых используются коммутаторы фазных токов (КФТ), предназначенные для осуществления требуемых переключений нагрузок абонентов сети с одной фазы на другую [7, 8].

Коммутатор фазных токов (КФТ) выполняется на базе отдельного микроконтроллера. В традиционных АСКУЭ в качестве КС используются различные технологии передачи данных (PLC, GSM и др.). Канал связи между ЦР и коммутатором фазных токов (КФТ) в разрабатываемой ИСУ реализован на основе радиоканала.

Процедура синтеза алгоритма функционирования (управления) цифрового регулятора включает следующие основные этапы:

1. Формирование исходных данных задачи управления.
2. Ситуационный анализ объекта.
3. Синтез алгоритма управления.

Исходные данные задачи формируются путем считывания информации, записанной в концентраторе данных (КД) АСКУЭ, и

путем их записи в общую базу данных ИСУ. В качестве такой информации используются активные и реактивные мощности, потребляемые фазами и абонентами сети. Ситуационный анализ проводится с целью определения структуры фазных переключений, т.е. для идентификации наименования фаз (Φ_1, Φ_2), в которых необходимо осуществлять операции переключения соответствующих нагрузок абонентов сети. Для оценки качества и эффективности функционирования РС используется следующая целевая функция [8, 32]:

$$E = J,$$

где J – величина действующего тока в нулевом проводе начального участка сети.

Минимизация введенного показателя эффективности системы E эквивалентна оптимизации режима работы несимметричной РС, при которой обеспечивается симметрирование начального участка сети и минимум разбаланса величин суммарных мощностей, потребляемых каждой из фаз сети, что позволяет значительно уменьшить технические потери в трансформаторах, питающих РС. В целях минимизации целевой функции E для каждой ситуации на объекте вводится критериальная функция $F(p)$, которая определяет меру отклонения желаемого состояния распределительной сети по мощности p^* на её входе от реального состояния, определяемого вектором $p = [p_1, p_2, p_3]$, где p_k – модуль мощности, потребляемой k -й фазой сети. В результате задача оптимизации режима работы распределительной сети сводится к решению следующей экстремальной задачи:

$$\min_{p \in P} F(p) = F(p^*),$$

где P – дискретное допустимое подмножество; p^* – оптимальный искомый вектор. Далее синтез закона управления u^* осуществляется на основе найденного вектора $p^* = [p_1^*, p_2^*, p_3^*]$. Методы, алгоритмы и технологии построения подсистемы УПЭ предложены в [7,8].

Основными функциями подсистемы «Мониторинг потерь электроэнергии» (МПЭ) являются идентификация и непрерывный

мониторинг технических и коммерческих потерь электроэнергии в РС. В случае, когда в сети имеются НОЭ, баланс комплексных мощностей определяется следующими соотношениями:

$$\dot{S}_k(\xi) = \dot{S}_k^a(\xi) + \dot{S}_k^T(\xi) + \dot{S}_k^x(\xi), k = \overline{1,3},$$

где k – индексная переменная, обозначающая номер соответствующей фазы (А, В, С), $k = \overline{1,3}$; $\dot{S}_k$ – комплексная мощность, потребляемая k -й фазой в дискретный момент времени $t = t_\xi$; $\dot{S}_k^a$ – суммарная комплексная мощность, потребляемая всеми абонентами k -ой фазы; $\dot{S}_k^T$ – технические потери мощности в k -ой фазе; $\dot{S}_k^x$ – неконтролируемые потери мощности (НОЭ) в k -й фазе сети. При этом мощности $\dot{S}_k(\xi)$ и $\dot{S}_k^a(\xi)$ являются известными величинами.

Следует отметить, что в существующих АСКУЭ технические $\dot{S}_k^T$ и коммерческие $\dot{S}_k^x$ потери не определяются, а оцениваются только суммарные мощности $\dot{S}_k$, потребляемые фазами сети и потребителями электроэнергии $\dot{S}_k^a$. Основная задача подсистемы МПЭ заключается в идентификации величин $\dot{S}_k^T$ и $\dot{S}_k^x$ и на их основе осуществить непрерывный мониторинг неконтролируемых потерь электроэнергии в распределительной сети. При этом для эффективного решения задач подсистемы МПЭ в рассмотрение вводятся модели виртуальных РС, описывающих желаемые состояния реальных сетей при отсутствии НОЭ в них. Методы и алгоритмы решения задач рассматриваемой подсистемы предложены в [12,13].

Подсистема «Диагностика критических состояний сети» (ДКС) решает две задачи:

- выявление и идентификация мест несанкционированных отборов (хищений) электроэнергии в РС;
- диагностика состояний проводов межабонентских участков магистральной линии по уровню их износа.

Решение этих задач осуществляется на основе формирования критериев критических состояний РС и идентификации текущих

параметров (сопротивлений) межабонентских участков сети. Результаты решения задач можно использовать для принятия соответствующих организационно-технических мер по устранению указанных критических состояний РС, что дает возможность сократить потери электроэнергии, обусловленные НОЭ и критическими уровнями износа проводов участков магистральной линии. Методы и технологии построения подсистемы ДКС изложены в [15, 16].

Обмен данными между подсистемами УПЭ, МПЭ и ДКС осуществляется через общую базу данных ИСУ. Исходные данные для решения функциональных задач поступают из концентратора данных (КД) АСКУЭ. В свою очередь концентратор получает данные путем опроса счетчиков электроэнергии, установленных у абонентов сети и в трансформаторной подстанции. Канал связи между ЦР и коммутатором фазных токов (КФТ) реализован на основе радиоканала. Кроме указанных блоков, структура ИСУ (рис.1) включает концентратор данных АСКУЭ и современные счетчики электроэнергии (Сч), которые серийно выпускаются известными зарубежными фирмами [24,26,29].

Предложения лаборатории «Адаптивные и интеллектуальные системы» по решению указанных задач и совершенствованию (модернизации) традиционных АСКУЭ, внедряемых на объектах распределительных компаний КР, рассматривались и обсуждались в ОАО «Северэлектро» и Комитете по топливно-энергетическому комплексу и недропользованию Жогорку Кенеша КР и получили их поддержку. На основе решения этого комитета принято постановление ЖК КР, в котором дано поручение Нацэнергохолдингу КР разработать и практически реализовать отраслевой целевой проект по совершенствованию АСКУЭ, используемых в настоящее время в РЭС, с участием НАН КР.

Выводы

В настоящее время для сектора электроэнергетики республики наиболее важной и острой проблемой является снижение технических и коммерческих потерь электроэнергии в распределительных сетях. Несмотря на широкое внедрение существующих

программно-аппаратных комплексов АСКУЭ, эти потери остаются достаточно высокими. Предложена концепция построения интеллектуальной информационно-управляющей системы в виде ИСУ на платформе (базе) современных АСКУЭ, использование которой в распределительных сетях обеспечивает существенное сокращение потерь электроэнергии за счет решения следующих основных функциональных задач:

- автоматическое управление потерями электроэнергии, обеспечивающее минимизацию технических потерь в РС, включая потери в трансформаторных источниках питания;
- выявление и идентификация мест несанкционированных отборов (хищений) электроэнергии;
- идентификация и мониторинг технических и коммерческих потерь электроэнергии в сети в режиме реального времени;
- диагностика состояний проводов межабонентских участков магистральной линии по уровню их износа.

Решение указанных функциональных задач в составе ИСУ на платформе традиционных АСКУЭ дает возможность существенно сократить потери электроэнергии в сетях и улучшить качество электроснабжения потребителей.

Литература

1. Якушев К. В. Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии для розничного рынка // Информатизация и системы управления в промышленности. – 2009. – № 3(23). – С. 9–13.
2. Еремина М. А. Развитие автоматических систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) // Молодой ученый. – 2015. – №3. – С. 135–138.
3. Kazmi S. A., Shahzad M. K., Khan A. Z., Shin D. R. Smart Distribution Networks: A Review of Modern // Energies, 2017.
4. El-Hawary M. E. The Smart Grid—State-of-the-art and Future Trends. Electr. Power Compon. Syst. 2014, 42, pp239–250.

5. Киселев М. Г., Лепанов М. Г. Симметрирование токов в сетях электроснабжения силовым электрическим регулятором неактивной мощности // *Электротехника*. – 2018. – №11. – С.63–70.
6. Косоухов Ф. Д., Васильев Н. В., Филиппов А. О. Снижение потерь от несимметрии токов и повышение качества электрической энергии в сетях 0,38 кВ с коммунально-бытовыми нагрузками // *Электротехника*. – 2014. – №6. – С. 8–12.
7. Оморов Т. Т. Синтез цифрового регулятора для симметрирования распределительной электрической сети // *Приборы и системы: Управление, контроль, диагностика*. – 2019. – № 11. – С.51–56.
8. Omorov T. T., Takyrbashev B. K., Zakiriaev K. E., Koibagarov T. D. Digital control of electric power flows in non-symmeter distribution networks as a composition of AM-RCS // *Energy Systems Research*. 2021, No.1. Pp.38-46.
9. Ершов А. М., Филатов О. В., Млоток А. В. и др. Система защиты электрической сети напряжением 380В от обрывов проводов воздушной линии // *Электрические станции*. – 2016. – №5. – С.28–33.
10. Клочков А. Н. Устройство для обнаружения трехфазных сетей с обрывом фазного провода. – *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. – № 1. – 2011. – С. 221–223.
11. Оморов Т. Т., Осмонова Р. Ч., Такырбашев Б. К. Диагностика состояний электрических линий распределительных сетей в составе АСКУЭ // *Контроль. Диагностика*. – 2017. – №5. – С.44–48.
12. Оморов Т. Т., Такырбашев Б. К., Осмонова Р. Ч., Койбагаров Т. Ж. Идентификация утечек тока в распределительных сетях по данным АСКУЭ // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия энергетика*. – 2018. – №2. – С. 48–54.

13. Оморов Т. Т. К проблеме локализации несанкционированного отбора электроэнергии в распределительных сетях в составе АСКУЭ // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2017. – № 7. – С. 27–32.
14. Данилов М. И. К проблеме оперативного выявления неконтролируемого потребления электроэнергии по данным АСКУЭ // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2020. – №5. – С.17–22.
15. Оморов Т. Т., Осмонова Р. Ч., Койбагаров Т. Ж., Эралиева А. Ш. К проблеме идентификации технических и коммерческих потерь электроэнергии в составе АИИС КУЭ // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2018. – №5 (50). – С. 56–60.
16. Оморов Т. Т., Такырбашев Б. К., Жаныбаев Т. О., Койбагаров Т. ДЖ. Идентификация и мониторинг потерь мощности в распределительных сетях в составе АСКУЭ // В сборнике: Методические вопросы исследования надежности больших систем в энергетике. Материалы 93 заседания семинара. В 2-х книгах. – 2021. – С. 33–42.
17. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. – М: ЭНАС, 2009. – 456 с.
18. Сапронов А. А., Кужеков С. Л., Тынянский В. Г. Оперативное выявление неконтролируемого потребления электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1 кВ // Изв. вузов. Электромеханика. – 2004. – № 1. – С.55–58.
19. Арутюнян А. Г. О расчете дополнительных потерь мощности в трехфазных четырехпроводных сетях // Электричество. – 2015. – № 10.
20. Авербух М. А., Жилин Е. В. О потерях электроэнергии в системах электроснабжения индивидуального жилищного строительства // Энергетик. – 2016. – №6. – С. 54–56.
21. Патент № 2249286 (РФ). Г. А. Большанин. Способ автоматизированного активного контроля уровня несимметрии напряжений и токов // Бюлл. №9. 27.03.2005.
22. Патент № 2490768 (РФ). И. В. Наумов, Д. А. Иванов, С. В. Подъячих, Гантулга Дамдинсурэн. Симметрирующее

- устройство для трехфазных сетей с нулевым проводом // Бюлл. № 23. 20.08.2013.
23. Патент № 2548656 (РФ). Самокиш В. В. Способ симметрирования фазных токов трехфазной четырехпроводной линии и устройство для его осуществления // Бюлл. №11. 27.12.2013.
24. <http://www.energomera.ru/>
25. <https://lemz.ru/>
26. <http://www.mir-omsk.ru/stuff/career/vacancies>.
27. <https://addgrup.com/>
28. <http://www.yitran.com/>
29. <http://www.hxgroup.cn/en/>
30. <http://www.sigmatelas.lt/>
31. Оморов Т. Т., Такырбашев Б. К., Койбагаров Т. Дж. Управление потерями электроэнергии в распределительных сетях в составе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии // Мехатроника, автоматизация, управление. – Т. 22. – №4. – 2021. С. 192 –199.
32. Omorov T. T., Takyrbashev B. K., Zakiriaev K. E., Koibagarov T. D. Synthesis of Control Algorithms for Technical Losses of Electricity in Distribution Networks // IEEE Xplore.