

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ SMART GRID НА ОСНОВІ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Попадченко С. А., Савченко О. А., Абрамов М. А.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Проведено аналіз шляхів підвищення ефективності реалізації технологій Smart Grid на базі систематичного нагляду за параметрами електричної мережі.

Постановка проблеми. Аналіз енергоспоживання неможливий без постійного моніторингу потоків енергії в системі електропостачання. До основних проблем, які існують на даний час в галузі електроенергетики, відноситься значна зношеність електромережевого комплексу, а також відомча роз'єднаність в цій сфері. Для того, щоб зробити інфраструктуру електроенергетики адекватною тому рівню, який є за кордоном, і задумувалась реформа електроенергетики. Smart Grid – це один із інструментів, який дозволить зробити мережі гнучкими [1, 2].

Разом з тим змінюються завдання і для самої електроенергетики - на перший план виходять такі пріоритети як її надійність, доступність, екологічність і безпека.

Повсюдне впровадження інверторів (комп'ютери, медтехніка, велика частина побутової електроніки, виробниче обладнання), впровадження частотних перетворювачів, електронних регуляторів швидкості двигуна, регульованого освітлення (диммерів), використання люмінесцентних світильників, що мають замість індуктивного електронний баласт, веде до збільшення енергетичної ефективності апаратури.

Передові системи моніторингу електромережі, що поєднують в собі такі функції як моніторинг генеруючих потужностей, вирівнювання навантаження, захист і вимірювання, забезпечують безпечну і ефективно доставку електроенергії.

Характерними рисами сучасних енергосистем є незбалансованість структури генеруючих потужностей, нестача ресурсів для ефективного регулювання частоти і потужності, зношеність та технічна застарілість обладнання, недостатня пропускна здатність ряду системоутворюючих ЛЕП, проблеми регулювання напруги і компенсації реактивної потужності, недостатній рівень оснащення засобами телемеханіки, релейного захисту та автоматики, моніторингу та діагностики, недосконалість систем диспетчерського управління.

Тому на часі виникла необхідність в підвищенні ефективності реалізації технологій Smart Grid за рахунок усунення основних проблем, властивих електроенергетичній системі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до Європейської технологічної платформи, Smart Grid – це "електричні мережі, що задовольняють вимогам енергоефективного та економічного функціонування енергосистеми шляхом скоординованого управління за допомогою сучасних двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричних станцій та споживачів електроенергії".

Інститутом інженерів електротехніки і електроніки США (IEEE) та Міністерством енергетики США визначення Smart Grid сформульовано як концепції повністю інтегрованої, саморегульованої і самовідновлюваної електроенергетичної системи, що має мережеву топологію і включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні і розподільчі мережі, а також споживачів електричної енергії, об'єднаних двостороннім потоком енергії та інформації, керованих єдиною мережею автоматизованих пристроїв у режимі реального часу [3–5].

У США Smart Grid стали фундаментальним елементом плану відновлення економіки. Китай розглядає їх як провідний компонент програми стратегічного розвитку. В державах Євросоюзу технології Smart Grid перетворилися в основний інструмент енергетичної політики.

Виділяють такі етапи реалізації Smart Grid:

1. Формування первинної вимірювальної системи Smart Metering: впровадження інтелектуальних вимірювальних приладів, технологій передачі і зберігання даних, програмного забезпечення різного рівня.

2. Інноваційно-модернізаційний розвиток інфраструктури: впровадження елементів генерації, резервування і накопичення, розподілу і споживання системи Smart Grid і їх інтеграція (створення "системи систем").

3. Впровадження споживчих сервісів і оптимізація тарифних планів.

4. Подальший розвиток відкритого ринку електроенергії.

Практична реалізація і науково-технічне забезпечення розвитку систем «інтелектуальних» мереж простежуються за впровадженням ряду зарубіжних проєктів:

Проєкт FENIX (Flexible Electricity Networks to Integrate the expected Energy Evolution) – побудова гнучкої електричної мережі, основними цілями якого є:

- опрацювання механізмів функціонування загальноєвропейської енергосистеми;
- опрацювання алгоритмів включення в загальну систему розподілених джерел генерації (DER) і поновлюваних джерел енергоресурсів (RES);
- демонстрація розробок на полігонах в Іспанії та Великобританії.

Цей проєкт об'єднав провідні компанії європейського енергетичного ринку, такі як Iberdrola, Electricite de France, EDF Energy Networks, Red Electrica de Espana, National Grid Transco, Siemens PSE, Areva T&D тощо.

Проекти Microgrids здатні взаємодіяти з центральною мережею для вирішення завдань покриття максимуму пікових навантажень. Проекти успішно реалізуються в Європі (на чолі з Національним технологічним університетом Афін), США (реалізовано консорціумом CERTS, компанією General Electric), Канаді, Японії [11].

Проект побудови "інтелектуальної" енергетичної інфраструктури (розподілена генерація, поновлювані джерела енергії, засоби акумулювання енергії, центри диспетчерського управління) у трьох префектурах Японії реалізовано компанією Mitsubishi Electric.

Компанією ABB розроблено технології "інтелектуальних" мереж, зокрема: система моніторингу перехідних режимів – WAMS (Wide area monitoring system) через супутникову систему GPS збирає інформацію про стан мережі в реальному часі. Масачусетський технологічний інститут визнав технологію WAMS однією з 10 технологій, які можуть змінити світ; системи диспетчерського управління та збору даних – SCADA, які моделюють мережі, імітують роботу під навантаженням, визначають несправності та попереджують відключення.

Мега статті. Головною метою статті є дослідження шляхів підвищення ефективності реалізації технологій Smart Grid в Україні на базі систематичного нагляду за параметрами електричної мережі та досягнення надійного і безаварійного енергопостачання споживачів.

Основні матеріали дослідження. Важливим стимулом впровадження нових технологій в енергетиці на шляху до підвищення ефективності реалізації технологій Smart Grid є швидкість розвитку інформаційних технологій, що впливатиме на різні аспекти функціонування енергетики. Інноваційні процеси в електромережевого комплексі можна умовно розділити на два напрямки: модернізацію і інтелектуалізацію електричних мереж.

До першого напрямку відносяться процеси заміни встановленого обладнання на нове покоління аналогічних пристроїв і застосування сучасних інформаційних автоматизованих систем, які забезпечать збільшення ефективності управління та функціонування даної електричної мережі.

До другого – процеси, пов'язані з інтелектуалізацією електромережевого комплексу в цілому і як наслідок перехід від "традиційних" розподільних мереж до активно-адаптивної мережі (Smart Grid), яка буде основою інтелектуальної електроенергетичної системи.

Активно-адаптивна мережа передбачає розвиток елементів, спрямованих на підвищення ефективності управління процесами виробництва, передачі і розподілу електроенергії [1].

Така мережа – це сукупність підключених до генеруючих джерел і до споживачів ліній електропередачі, пристроїв по перетворенню електроенергії, комутаційних апаратів, пристроїв захисту і автоматики, сучасних інформаційно-технологічних і керуючих систем, джерел генерації, в тому числі які використовують відновлювану енергію.

Цей комплекс видає інформацію про поточний

стан обладнання, організовує адаптивну реакцію системи в реальному режимі часу на різні збурення, забезпечуючи тим самим надійне енергопостачання споживачів, енергоефективність і стійкість функціонування електроенергетичних систем в цілому.

Подібного роду системи - нагальна потреба часу, створенням якої займаються всі провідні країни світу. Широке впровадження сучасних мікропроцесорних систем і каналів зв'язку надає нові можливості для створення систем діагностичного моніторингу ЛЕП і для організації моніторингу повітряних ліній електропередачі.

Найбільш цікавими є наступні напрямки розробки і впровадження систем моніторингу та оперативної діагностики ЛЕП:

1. Збільшення пропускної здатності повітряних ліній за допомогою використання систем "прямого" температурного моніторингу проводів ліній.

2. Контроль за технічним станом підвісної ізоляції ЛЕП, контроль поверхневого забруднення ізоляції, пошук дефектних ізоляторів в лінії.

3. Дистанційна локація місць виникнення дефектів, контроль імпульсних і комутаційних процесів в лінії.

4. Впровадження дистанційних систем моніторингу обмерзання проводів під напругою.

5. Оперативний контроль за технічним станом та умовами прокладки проводів ЛЕП, що проводиться різними методами в режимі моніторингу.

6. Виявлення ліній, що мають однофазне замикання на землю, локація місць виникнення замикання під робочою напругою.

З метою створення нового, інноваційного технологічного базису енергетики були сформовані п'ять груп ключових технологічних областей, що забезпечують, проривний характер:

- вимірні прилади і пристрої, що включають, в першу чергу, smart-лічильники і smart-датчики;

- вдосконалені методи управління: розподілені інтелектуальні системи управління і аналітичні інструменти для підтримки комунікацій на рівні об'єктів енергосистеми, що працюють в режимі реального часу і дозволяють реалізувати нові алгоритми і методики управління енергосистемою, включаючи управління її активними елементами;

- вдосконалені технології і компоненти електричної мережі: гнучкі передачі змінного струму FACTS, вставки постійного струму, надпровідні кабелі, напівпровідникова, силова електроніка, накопичувачі тощо.

- інтегровані інтерфейси і методи підтримки прийняття рішень, управління попитом, розподілена система моніторингу і контролю (DMCS), розподілена система поточного контролю за генерацією (DGMS), автоматична система вимірювання процесів, що протікають (AMOS), і т. ін., а також нові методи планування та проектування як розвитку, так і функціонування енергосистеми і її елементів.

- інтегровані комунікації, які дозволяють елементам перших чотирьох груп забезпечувати взаємозв'язок і взаємодію один з одним, що і являє, по суті, Smart Grid як технологічну систему.

Одним з найбільш ефективних засобів розвитку електричних мереж з метою підвищення ефективності реалізації технологій Smart Grid є застосування компактних ПЛ в поєднанні з пристроями FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems), в тому числі з пристроями фазового регулювання (компактні керовані ПЛ). Компактні керовані високовольтні лінії електропередачі змінного струму є електропередачами нового покоління, що втілили в себе сучасні технічні рішення по конструкції, включаючи опори та ізоляцію, схеми з'єднань, системи управління [7].

FACTS – комплекс технічних і інформаційних засобів автоматичного управління параметрами ліній електропередачі. Призначення пристроїв FACTS:

- підвищення пропускної здатності лінії електропередачі;
- забезпечення стійкої роботи енергосистеми при різних збуреннях;
- забезпечення заданого розподілу потужності в електричних мережах відповідно до вимог диспетчера;
- підвищення надійності енергопостачання споживачів;
- зниження втрат в електричних мережах;
- рішення завдання по перетворенню електричної мережі з "пасивного" пристрою транспорту електроенергії в "активний" елемент управління режимами роботи.

З метою реалізації технологій Smart Grid здійснюється впровадження ліній електропередач нового типу – керованих високовольтних ліній, що самокомпенсуються (КСПЛ) з метою підвищення пропускної здатності і досягнення глибокої керованості режимними параметрами і характеристиками.

Ці переваги досягаються за рахунок нового конструктивного виконання, застосування комплексу обладнання – фазорегулювальних і компенсуючих пристроїв і відповідних систем управління. За своїм принципом роботи і режимними показниками дані електропередачі належать до категорії керованих гнучких систем передачі електроенергії змінного струму (Controlled Flexible Alternating Current Transmission Systems – CFACTS).

Необхідно також змінити не тільки конструкцію ліній, але і схеми і способи управління. Весь комплекс нових технічних рішень, сформульованих на підставі цих результатів, знайшов своє втілення в КСПЛ, які відрізняються від звичайних ліній по своєму виконанню і принципу.

Метою підвищення ефективності управління режимами роботи електричної мережі на базі платформи Smart Grid є контроль поточних параметрів стану повітряних ліній з урахуванням метеоданих, що дозволяє проводити моніторинг параметрів навколишнього середовища в районі, де знаходяться ПЛ і контролювати їх поточний стан. Це дозволить оптимізувати використання їх реальної пропускної здатності, контролювати рівень технологічних втрат, виконувати оцінку граничних значень довгострокових і короткострокових струмів навантаження, регулювати перетоми потужності на повітряних лініях, а також давати

оцінку погодним умовам у відповідних районах для аварійних бригад [11].

В зв'язку з масштабним впровадженням електростанцій, які використовують відновлювані джерела електроенергії (ВДЕ), яким притаманні неконтрольовані і нестабільні рівні генерації, відсутність інерції і наявність гармонійних спотворень вимагає вдосконалення існуючої системи SCADA/EMS/DMS на рівнях передачі і розподілу електроенергії. Система моніторингу ЛЕП складається з мережі вимірювальних блоків, пов'язаних через канал зв'язку з обладнанням на диспетчерському пункті. Вимірювальні блоки розподілені уздовж траси ЛЕП та монтуються на опорах або безпосередньо на високовольтних проводах. Диспетчерські пункти розташовані в вузлових точках мереж перерозподілу енергії.

Використовуються системи SCADA, що забезпечують обробку і інтерпретацію отриманих від вимірювальних блоків даних. В вимірювальний блок входять такі базові компоненти: група датчиків для вимірювання основних поточних параметрів лінії; процесорний модуль для обробки даних вимірювань; система передачі даних; модуль автономного живлення.

Для живлення вимірювальних блоків систем моніторингу повітряних ліній використовується два варіанти. Для вимірювальних систем, що розміщуються на щоглах опор ЛЕП, використовуються акумуляторні батареї, що заряджаються від сонячних батарей. Для вимірювальних модулів, змонтованих безпосередньо на проводах ЛЕП, живлення здійснюється від струмового трансформатора.

З розвитком мікропроцесорної техніки стало можливим реалізовувати нові алгоритми, що враховують більшу кількість параметрів. Концепція побудови нових цифрових систем протиаварійної автоматики вже враховує їх застосування в інтелектуальних електричних мережах, які отримали назву Smart Grid. Енергетична система на базі концепції Smart Grid є єдиним енергоінформаційним комплексом, де керовані об'єкти повинні дозволяти здійснювати дистанційне керування, а системи оцінювання ситуації та протиаварійної автоматики – зменшувати надлишкові вимоги до резервів силових і інформаційних потужностей.

Розвиток малої автоматизації мереж і виробництва пов'язано з появою програмованих логічних контролерів. Програмований логічний контролер (ПЛК; англ. programmable logic controller, PLC) – електронна складова промислового контролера, спеціалізованого пристрою, використовуваного для автоматизації технологічних процесів [3]. В якості основного режиму роботи ПЛК виступає його тривале автономне використання, часто в несприятливих умовах навколишнього середовища, без серйозного обслуговування і практично без втручання людини.

Розроблені системи моніторингу на базі комплексів сімейства "Регіна", що впроваджуються в Об'єднану енергетичну систему (ОЕС) України і здійснюють реєстрацію аналогових і дискретних сигналів (відповідно режимних параметрів і індикації стану обладнання, систем захисту і автоматики), діагностування пристроїв релейного захисту та автоматики, забезпечують оперативність і точність визначення місць пошкоджень на електричних приєднаннях, діаг-

ностики та прогнозування стану ізоляції високовольтного обладнання, в тому числі вимикачів, здійснюють аналіз аварійних ситуацій та ін. При цьому кращі технічні характеристики і показники функціонування мають комплекси "Регіна-Ч", які побудовані з використанням сучасних технологій і забезпечують високоточні синхронізовані за супутниковими сигналами єдиного часу вимірювання режимних параметрів. Забезпечення необхідного рівня надійності і безпеки функціонування ОЕС України потребує вирішення завдання моніторингу частоти, потужності, струму, напруги та їх кутових параметрів. Його реалізація забезпечить:

- проведення оперативним персоналом електроенергетичної системи моніторингу режимів за рахунок динамічного представлення системних режимних па-

раметрів, приведених до єдиного часу на всіх об'єктах енергосистем;

- перевірку достовірності розрахункових моделей і оцінку результатів розрахунку режимів;
- створення бібліотеки режимів та передумов для впровадження систем АСК ТП електроенергетичних об'єктів (ЕЕО) та вдосконалення АСДК енергосистем;
- створення інформаційної бази для виконання ефективного комплексу "радника диспетчера", що діє в режимі, наближеному до реального часу, за рахунок швидкісних синхронізованих у часі вимірювань;
- забезпечення проведення чіткого та достовірного аналізу причин виникнення, розвитку, а також визначення особливостей ліквідації аварійних ситуацій [5].

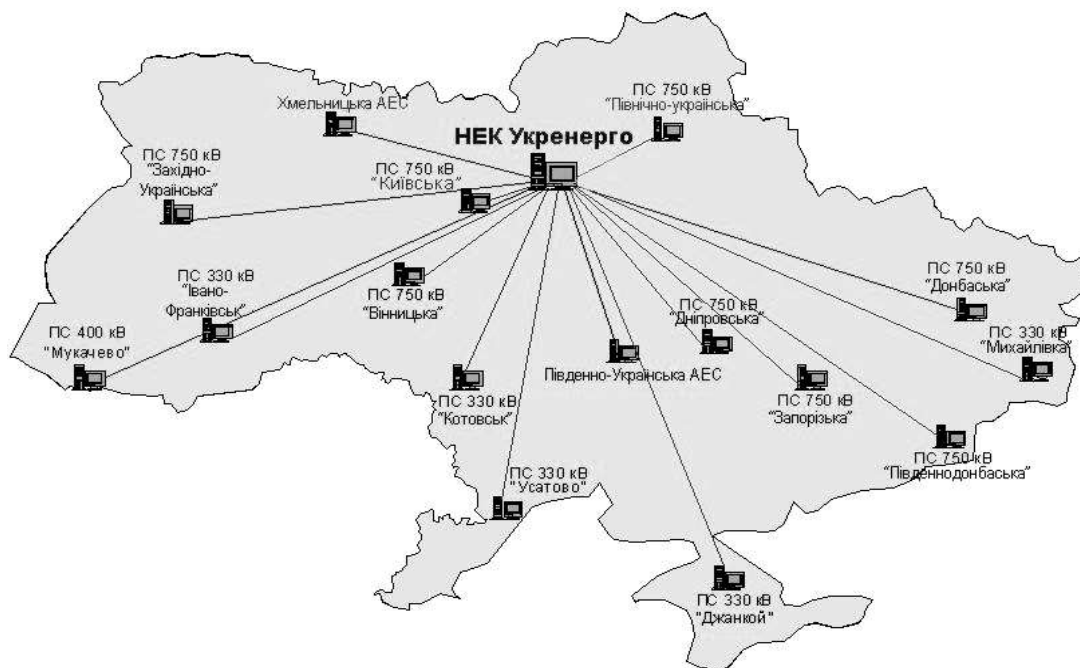


Рисунок 1 – Перша черга системи моніторингу в об'єднаній енергосистемі України

Потрібен поетапний перехід від аналогових систем управління до цифрових з побудовою єдиної енергоінформаційної системи, в результаті чого ми отримаємо "розумні" мережі. Зі збільшенням обсягів інформації, кількості суб'єктів і об'єктів управління, необхідна інтелектуалізація побудованої на попередньому етапі енергоінформаційної системи. В результаті відбудеться перехід від "розумних мереж" до "інтелектуальних мереж". Функціональні можливості моніторингу мереж залежать від виду встановленого обладнання, рівня оснащення ЛЕП приладами.

Об'єднання поновлених і розподілених джерел енергії в керовані віртуальні електростанції і мікромережі дозволить подолати проблеми мінливості вироблення і низьку інтенсивність електроенергії від ВДЕ.

В майбутньому передбачається, що функціонування енергосистеми буде здійснюватися шляхом тісної взаємодії між централізованими і розподіленими децентралізованими генеруючими потужностями. Управління розподіленими генераторами може бути

зібрано в єдине ціле, утворюючи мікромережі (Microgrid) або "віртуальні" електростанції, інтегровані як в мережу, так і в ринок електроенергії та потужності, що буде сприяти підвищенню ролі споживача в керуванні енергосистемою. Як і централізована мережа, мікромережі або віртуальна станція може генерувати, розподіляти і регулювати потік електрики споживачам.

Smart-мікромережі включають локальні джерела резервного живлення і акумулювання енергії, мають більш високий рівень гнучкості і дозволяють підключати більш широкий діапазон генеруючих джерел енергії, включаючи ті, інтеграція яких є проблемою для централізованої енергетичної системи: вітрові та сонячні електростанції [8].

Мікромережі будуть частиною національної енергетичної системи: вони пов'язані з регіональними мережами, а через них - з національною електричною мережею. Електроенергія від мікромереж спрямовуватиметься до споживачів і назад в регіональну мережу в залежності від умов попиту і пропозиції. Smart-

мікромережі дозволяють ефективно покривати зростаючий споживчий попит за рахунок зростання надходжень електроенергії від поновлюваних джерел енергії.

Ефективність впровадження Smart-мікромереж, за оцінками вчених з США, в чотири рази може перевищити ефективність існуючих мереж за рахунок вигод, одержуваних в економіці, надійності і ефективності використання електроенергії споживачами.

Висновки. Для підвищення ефективності реалізації технологій Smart Grid в Україні необхідно вдосконалювати і розвивати принципи і системи управління режимами роботи електроенергетичної системи. Моніторинг не тільки забезпечує підвищення надійності транспорту електроенергії, але і сприяє зменшенню витрат на обслуговування ліній електропередачі за рахунок більш оперативних і точних даних при локалізації аварій, а також прогнозування проблемних ситуацій на трасі.

На сьогоднішній день вже створено більшість технічних засобів для розвитку інтелектуальної електромережі. Частина таких інноваційних пристроїв і технологій розроблені в нашій країні. Це принципово нові пристрої на базі силової електроніки: асинхронізовані турбогенератори і компенсатори реактивної потужності, кабельні лінії на основі високотемпературної надпровідності, пристрої обмеження струмів к. з. комутаційного типу, які не мають світових аналогів.

Впровадження сучасних систем контролю та моніторингу електрообладнання вимагає великої підготовчої роботи та економічного обґрунтування засобів тепловізного контролю та методів аналізу і спеціального навчання персоналу.

Визначено інноваційні технології, що дозволяють успішно реалізувати поставлену задачу для підвищення надійності мереж та їх енергоефективності. Реалізація даної концепції на базі інтелектуальних технологій забезпечить перехід енергетики України на інноваційний шлях розвитку.

Список використаних джерел

1. Беляевский Р. В. Беляевская Л. Ю. Исследование подходов к инновационному процессу внедрения технологий smart grid в электросетевой комплекс. *Энергетика и энергосбережение: теория и практика. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции*, 19-21 декабря. Кемерово, 2018. URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energ/2018/energ/pages/Articles/209.pdf>.

2. Дубенко Ю. В. Тимченко Ю. Н. Тимченко Н. Н. Обзор современной элементной базы в рамках концепции "умных" сетей. *Научный журнал*. КубГАУ 2016. №121(07). С.1-13. URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/96.pdf>.

3. Кириленко А. В. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы; под общ. ред. акад. НАН Украины А. В. Кириленко. Киев: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. 408 с.

4. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Smart Grid. Концептуальные положения [Текст]. *Энергорынок*. 2010. №3. С.66-72.

5. Козлов А. Н., Баженов К. О. Управляемые линии электропередачи переменного тока. *Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции*. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2019. 576 с. С.365-367.

6. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью. URL: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/mfl4voxwok/direct/73743691>.

7. Кундас С. П., Шенк Ю., Вайцехович Н. Н. Гибридные технологии в использовании возобновляемых источников энергии. *Энергоэффективность*. 2012. № 2. С.19-23.

8. Манусов В. З., Ядагаев Э. Г. Особенности параллельной работы ветроэлектростанций и электроэнергетических систем. *Молодежь и наука: м-лы науч.-техн. конф.* Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. URL: <http://elib.sfukras.ru/handle/2311/6906>.

9. Массель Л. В., Колосок И. Н., Гурина Л. А. Обработка информационных потоков при мониторинге и управлении режимами интеллектуальных электроэнергетических систем. *Вестник ИрГТУ*. 2013. №2 (73). С.30-34.

10. Використання технологій smart grid для підвищення ефективності електропостачання споживачів / Мороз О. М., Черемісін М. М., Попадченко С. А., Савченко О. А., Дюбко С. В. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 3 (49) С.45-50.

11. Попадченко С. А. Аналіз світових тенденцій модернізації електричних підстанцій на сучасному етапі розвитку. *Енергетика та електрифікація*. 2016. № 9. С. 46-49.

Аннотация

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ SMART GRID НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Попадченко С. А., Савченко О. А.,
Абрамов М. А.

Проведен анализ существующих методов и технических средств организации мониторинга электрической сети.

Abstract

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SMART GRID TECHNOLOGIES ON THE BASIS OF MONITORING OF ELECTRICAL NETWORK PARAMETERS

S. Popadchenko, O. Savchenko,
M. Abramov

An analysis was made of existing methods and technical means of organizing monitoring of the electric net.