

интервалы: по активной мощности это интервалы 18, 35, 34, 14, а по реактивной – 18, 37, 34, 17. Максимальные получасовые нагрузки по полной мощности приходятся на временные интервалы, которым принадлежат максимальные получасовые нагрузки по активной мощности. При этом имеет место наличие временных интервалов, на которых максимальные получасовые нагрузки по активной и реактивной мощностям не совпадают. Это служит подтверждением того, что графики нагрузок по активной и реактивной мощностям не монотонны. Этот факт не согласуется с утверждением о монотонности графиков нагрузок по активной и реактивной мощностям, положенным в основу работы [2]. Явление немонотонности нагрузок существенно осложняет целевое управление режимом работы средств КРМ.

**Выводы.** Представленный в данной работе анализ энергетического состояния ДЭС позволяет сделать вывод о необходимости учета динамики реактивной энергии в сети, немонотонности в целом графиков нагрузок по активной и реактивной мощностям и необходимости введения обоснованных оценок электрической нагрузки по реактивной мощности в ДЭС для применения их в целевом управлении реактивной энергией.

#### Список использованных источников

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М. : Высш.шк., 2003. – 479 с.
2. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках / Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. – М. : Энергоатомиздат, 1968. – № 6. – С. 3-17.

УДК 621.316

**О.С. Яндульський**, д-р техн. наук

**О.В. Хоменко**, канд. техн. наук

**А.А. Марченко**, канд. техн. наук

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

#### АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З РОЗОСЕРЕДЖЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ СЕС

**А.С. Яндульський**, д-р техн. наук

**О.В. Хоменко**, канд. техн. наук

**А.А. Марченко**, канд. техн. наук

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

#### АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ СЭС

**Oleksandr Yandulskyi**, Doctor of Technical Sciences

**Oleh Khomenko**, PhD in Technical Sciences

**Anatolii Marchenko**, PhD in Technical Sciences

NTUU «KPI», Kyiv, Ukraine

#### THE ANALYSIS OF THE MODES OF ELECTRICAL NETWORKS WORK WITH DISTRIBUTED GENERATION SES

*Розглянуто вплив генерації сонячних електростанцій (СЕС) на режими роботи електричної мережі південно-західної частини ОЕС України. Аналізуються рівні напруг і сумарні втрати активної потужності в мережі при зміні генерації СЕС. Використовується програмний комплекс Power Factory.*

**Ключові слова:** електрична мережа, розосереджена генерація, комп'ютерне моделювання, сонячна електростанція, втрати потужності, рівні напруг.

*Рассмотрено влияние генерации солнечных электростанций (СЭС) на режимы работы электрической сети юго-западной части ОЭС Украины. Анализируются уровни напряжений и суммарные потери активной мощности в сети при изменении генерации СЭС. Используется программный комплекс Power Factory.*

**Ключевые слова:** электрическая сеть, рассредоточенная генерация, компьютерное моделирование, солнечная электростанция, потери мощности, уровни напряжений.

*The influence of solar power generation in modes mains south-western part of energy system of Ukraine. Analyzes the stress level and total active power losses in the network by changing the generation of sun power plant. Used software package Power Factory.*

**Key words:** *electricity grid, dispersed generation, computer modeling, sun power plant, power loss, voltage levels.*

**Постановка проблеми.** Одним із напрямків модернізації вітчизняної електроенергетики є активне впровадження розподіленої та розосередженої генерації, у тому числі на основі відновлюваних джерел енергії. При цьому виробництво електроенергії переноситься на рівень розподільних мереж, до яких підключені генеруючі установки. Відбувається інтеграція систем децентралізованої генерації в традиційні системи централізованого енергопостачання.

У загальному випадку децентралізована генерація об'єднує в собі розподілену та розосереджену генерацію [1]. Розподілена генерація призначена для безпосереднього задоволення потреб в електроенергії конкретних споживачів, біля яких вона розташована. Розосереджена генерація розміщується у стратегічних місцях мережі зі слабкими електричними зв'язками, недостатньою пропускною здатністю мереж передачі та розподілення електроенергії, в місцях, що значно віддалені від джерел централізованої генерації. Це дозволяє покращити надійність та стабільність роботи енергосистеми. Під час використання відновлюваних джерел енергії як елементів розосередженої і розподіленої генерації, важливим фактором їх розміщення є наявність та можливість використання в достатньому обсязі відповідних природних ресурсів (сонце, вітер тощо).

Останнім часом інтерес до відновлюваних джерел енергії постійно зростає, оскільки в багатьох регіонах вони необмежені. У міру того, як постачання палива стає менш надійним і дорожчим, ці джерела стають усе більше привабливими з економічного та екологічного погляду. У пошуках альтернативних джерел енергії в багатьох країнах світу значну увагу приділяють сонячній енергетиці. За даними [2] в 2011 році загальна потужність СЕС у світі зросла на 70 % і становить 67,4 ГВт. Діючі сонячні електростанції щорічно можуть виробляти близько 80 млрд кВт·г електроенергії. Лідерами у розвитку сонячної енергетики є європейські країни, які забезпечили у 2011 р. 75 % (21 ГВт) світового приросту. Загальна потужність побудованих у Європі СЕС на кінець 2011 р. перевищила 50 ГВт. Вони можуть виробляти більш ніж 60 млрд кВт·г електроенергії. За межами Європи лідером у розвитку сонячної енергетики є Китай. В 2011 р. потужність діючих там СЕС збільшилась до 2,9 ГВт. Інтенсивно розвивається сонячна енергетика в США, будуються нові СЕС в Індії, Тунісі тощо.

Одним із лідерів в розвитку сонячної енергетики в 2011 році стала Україна. Це стало можливим в основному завдяки введенням в експлуатацію в Криму сонячним паркам «Охотніково» (80 МВт) і «Перово» (100 МВт), які стали одними з найбільших у світі. Загальна потужність діючих вітчизняних СЕС перевищила 190 МВт. Продовжується будівництво нових СЕС – у Київській області (42 МВт), у Вінницькій області (1,8 МВт). Планується будівництво шести СЕС у Вінницькій області сумарною потужністю 50 МВт, в Одеській області – близько 10 СЕС загальною потужністю 25-30 МВт. У 2012 році, за даними НЕК "Укренерго", в Україні введено в експлуатацію сонячні електростанції загальною потужністю 130,3 МВт, що збільшило загальну потужність СЕС України до 317,8 МВт. У найближчі роки в Україні планується ведення, крім нині діючих, до 300 МВт нових потужностей в сонячній енергетиці: в Новій Каховці, в Одеській, Херсонській, Миколаївській, Вінницькій та Кіровоградській областях.

Наявність альтернативних джерел енергії спричиняє зміни у структурі енергосистеми і режимах її роботи:

– більшість розподілених джерел електроенергії під'єднанні до розподільної мережі. Це відрізняє її від традиційних енергосистем, в яких баланс енергії підтримується переважно декількома потужними централізованими генеруючими центрами, що під'єднанні до передавальної мережі;

– потужність генерації сонячних джерел електроенергії визначається зовнішніми факторами (насамперед інтенсивністю сонячного випромінювання) і мало залежить від режиму роботи електричної мережі, до якої вони під'єднанні;

– сонячні установки можуть мати коливальний або переривчастий характер генерації потужності. Концентрація великої кількості такого типу джерел може призвести до сильних коливань потужності в енергосистемі, що значно впливає на режими роботи енергосистеми і її стійкість;

– більшість розподілених (відновлюваних) генераторів під'єднанні до мережі за допомогою силових електронних перетворювачів (інверторів), які дуже чутливі до рівнів напруг.

Для якісного оцінювання впливу генерації СЕС на розподільну мережу, треба враховувати такі аспекти функціонування ЕЕС, як контроль напруги та втрати потужності в ній.

СЕС може впливати на зміну напруги двома способами:

– станція працює у взаємозв'язку з місцевим навантаженням, тобто при зміні навантаження в мережі генерація СЕС також змінюється. Такий режим роботи СЕС не створює проблем при традиційних підходах контролю напруги;

– вихідна потужність станції змінюється системами керування незалежно від місцевого навантаження. У цьому випадку РГ може негативно позначитися на функціональності управління напругою мережі. Один із простих підходів до вирішення цієї проблеми – зниження вихідної потужності.

Втрати потужності в мережі залежать від потужності генерації СЕС. Якщо навантаження шин більше або дорівнює потужності джерела на кожній шині, то втрати зменшуються по всіх лініях у розподільній мережі. При збільшенні потужності СЕС відносно навантаження, втрати збільшуватимуться через перерозподіл потоків потужності в мережі. Тому потрібно контролювати процес такого генерування і керувати ним.

**Мета статті.** У роботі проведено моделювання приєднання сонячних електростанцій до електричної мережі, визначення й аналіз впливу СЕС на рівні напруг та втрати потужності в мережі.

**Виклад основного матеріалу.** Моделювання та аналіз впливу сонячних електростанцій на режими виконано для електричної мережі 110-35-10(6) кВ південно-західної частини ОЕС України. Вихідна схема мережі включає 38 підстанцій, 190 шин, 55 ліній електропередач, 12 двохобмоткових і 50 трьохобмоткових трансформаторів, 110 вузлів навантажень. Власна генерація у досліджуваному фрагменті електричної мережі відсутня. Зовнішні зв'язки мережі по розрізу 110 кВ і відповідні потоки потужності моделюються підключенням синхронних машин до шин 110 кВ підстанцій Вулканешти, МолдГРЕС, Усатово, Н.Одеська та Арциз-110. Моделюються і аналізуються режими при підключенні СЕС Арциз (40 МВт), Залізничне (40 МВт), Кілія (50 МВт), Рені (40 МВт) та Старокозаче (40 МВт) до шин відповідних підстанцій.

Узагальнена схема досліджуваної електричної мережі з основними результатами розрахунку вихідного усталеного режиму (без підключення СЕС) показана на рис. 1. Ця схема складається з 39 вузлів, що є шинами 110 кВ підстанцій, та 54 віток, які є ділянками ЛЕП 110 кВ.

Розрахунки усталених режимів роботи електричної мережі проводились з використанням програмного комплексу Power Factory [3]. Сумарне надходження потужності в мережу від зовнішніх джерел становить близько 360 МВА. Втрати активної потужності становлять 17,19 МВт. Рівні напруг на шинах 110 кВ підстанцій, де приєднані зовнішні зв'язки мережі, при відсутності власної генерації в ній, значною мірою визначають режими напруг в усій мережі. Рівні напруг тільки на ПС Вулканешти не виходять за допустимі межі, на інших ПС напруги занижені. Введення режиму у допустимі область по напругам можливо застосуванням наявних засобів і методів регулювання напруг [4] і за рахунок використання наявних додаткових генеруючих потужностей.

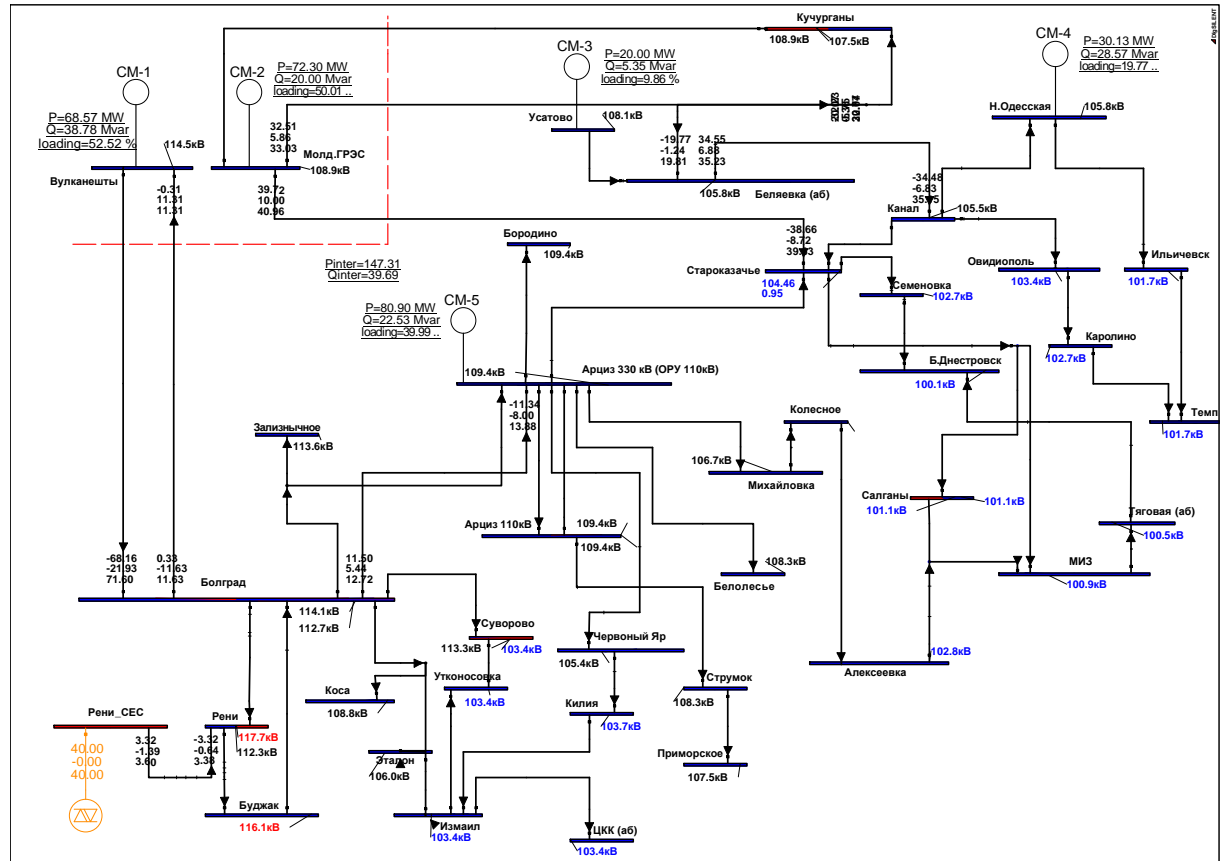


Рис. 1. Узагальнена схема досліджуваної електричної мережі

Розглянемо вплив генерації наявних і перспективних СЕС у південно-західній частині ОЕС України на рівні напруг і втрати активної потужності в електричній мережі при незмінному сумарному навантаженні в ній. Потужність генерації сонячних станцій мало залежить від змін навантажень і режимів роботи електричної мережі і значно змінюється під впливом природних факторів – інтенсивності сонячного випромінювання, хмарності тощо, залежно від часу доби та пори року.

У процесі моделювання активна потужність кожної СЕС покроково збільшується від нуля до максимальної з кроком 10 МВт. Аналіз впливу потужності кожної із СЕС на напруги у контрольних вузлах показує, що:

- збільшення генерації сонячної електростанції Рені практично не впливає на рівні напруг у контрольних вузлах, напруга на шинах 110 кВ ПС Рені підвищується і входить у допустимі межі. Втрати активної потужності в мережі при збільшенні генерації до 40 МВт збільшуються від 16,96 МВт до 18,38 МВт (рис. 3);
- генерація СЕС Кілія призводить до збільшення напруг у контрольних вузлах, але її недостатньо для введення напруг у допустиму область. Втрати активної потужності при збільшенні генерації зменшуються до 13,87 МВт;
- збільшення генерації СЕС Залізничне впливає на режим роботи мережі дуже несуттєво. Напруги у вузлах незначно збільшуються, втрати активної потужності залишаються практично незмінними;
- збільшення генерації СЕС Старокозаче призводить до збільшення напруг у всіх контрольних вузлах, крім Вулканешти. При цьому сумарні втрати активної потужності в мережі практично не змінюються;
- зміна генерації Арциз СЕС практично не впливає на режим роботи мережі. Напруги у контрольних вузлах і втрати потужності в мережі змінюються несуттєво.

Моделювання впливу одночасного сумарного покрокового збільшення генерації усіх СЕС від 0 до 200 МВт показує, що режим напруг у більшості контрольних вузлів значно покращується (рис. 2). На шинах 110 кВ ПС Вулканешти напруга залишається у допустимих межах і практично не змінюється.

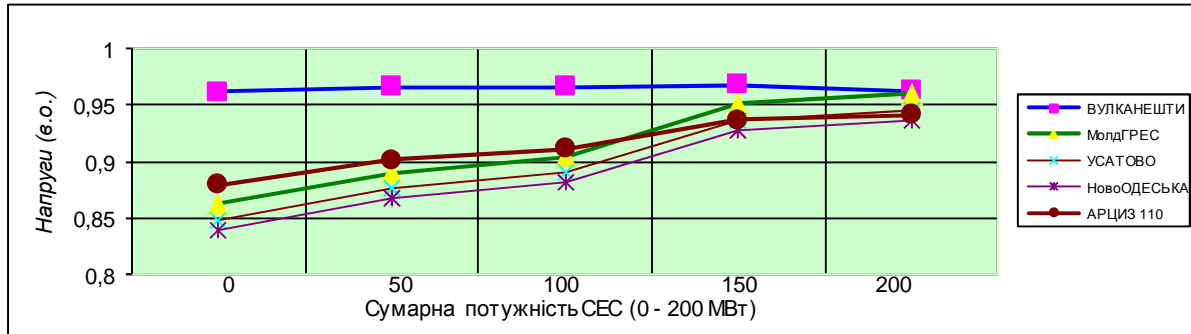


Рис. 2. Вплив сумарної генерації СЕС на напруги

Втрати потужності у мережі при збільшенні сумарної генерації СЕС до 25 % зменшуються, при подальшому її зростанні до максимальної вони значно збільшуються (рис. 3).

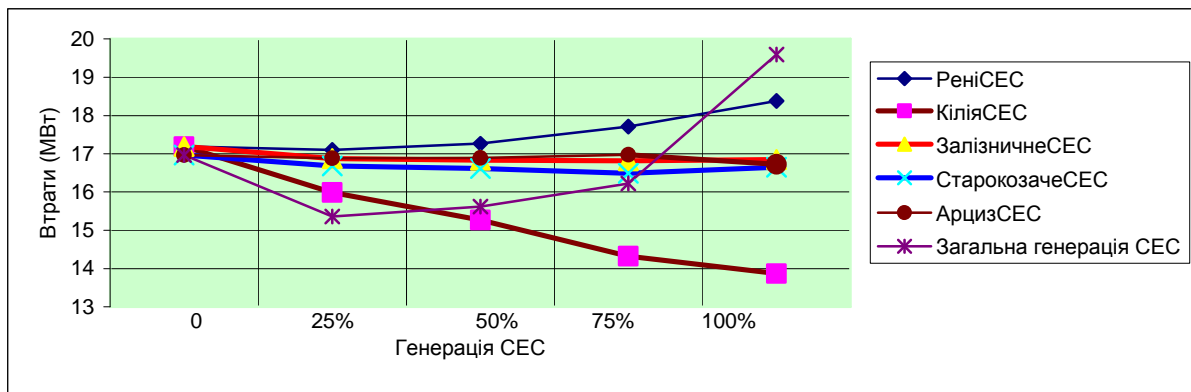


Рис. 3. Вплив генерації СЕС на втрати потужності у мережі

Проведено також аналіз режимів роботи мережі при зміні генерації сонячної електростанції Арциз відповідно до її добового графіка за 28.02.2013 р. Графіки генерації СЕС Арциз сформовані на основі даних системи АСУ ТП пристанційного вузла сонячної станції «Арциз-110». Для прикладу вибрано день, у який була максимальна середня на добу генерація СЕС протягом лютого (рис. 4). Добовий графік генерації СЕС Арциз за 28.02.2013 р. наведений на рис. 5. Показані середні потужності генерації за кожний 60-хвилинний інтервал протягом доби. Зміни потужності генерації СЕС відповідають змінам впливу природних факторів (фактична сонячна інсоляція, хмарність тощо).

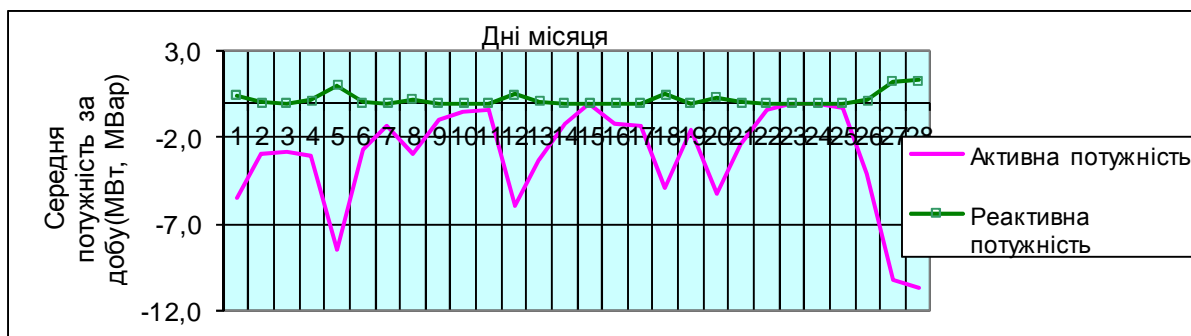


Рис. 4. Середня за добу потужність генерації СЕС Арциз у лютому 2013 р.

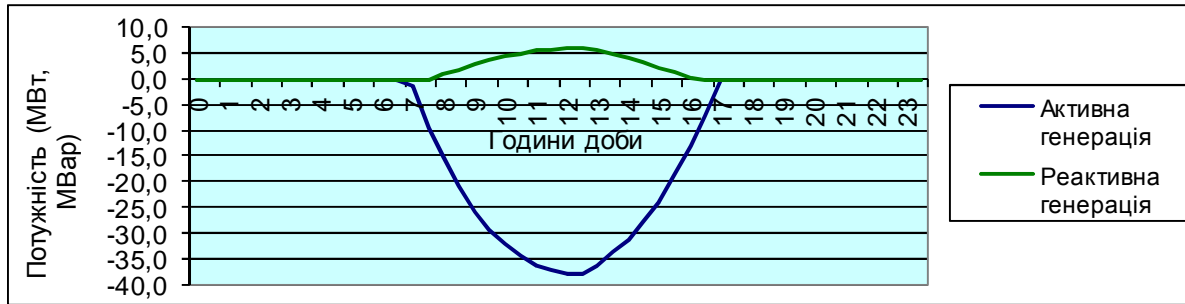


Рис. 5. Генерація СЕС Арциз 28 лютого 2013 р.

Зміни фактичної потужності генерації СЕС Арциз протягом доби практично не впливають на рівні напруг у контрольних вузлах мережі. При цьому сумарні втрати активної потужності в мережі змінюються суттєвіше, збільшуючись від 16,96 МВт до 17,65 МВт при максимальній генерації СЕС (рис. 6).



Рис. 6. Вплив генерації СЕС Арциз 28 лютого 2013 р. на втрати потужності

**Висновки.** Аналізуючи результати проведених досліджень, можна зробити такі висновки:

1. У вихідному режимі досліджуваної мережі напруги в контрольних вузлах значно занижені. Для введення режиму у допустиму область по напругам доцільне застосування наявних засобів і методів регулювання напруг та використання наявних додаткових генеруючих потужностей.

2. Зміна генерації кожної окремої СЕС дуже мало впливає на рівні напруг у вузлах мережі, призводячи до незначного їх збільшення. Для введення режиму у допустиму область цих потужностей недостатньо.

3. Вплив активної генерації СЕС на втрати активної потужності в мережі різнонаправлений: при збільшенні генерації РеніСЕС втрати зростають, збільшення генерації КіліяСЕС призводить до значного зменшення втрат в мережі. Генерація інших СЕС на величину втрат практично не впливає.

4. Одночасне збільшення сумарної генерації всіх СЕС значно покращує режим напруг у мережі. Перерозподіл потоків потужностей у мережі при цьому призводить до збільшення сумарних втрат активної потужності при максимальній сумарній генерації;

5. Фактична генерація СЕС Арциз практично не впливає на рівні напруг у мережі і збільшує втрати активної потужності в ній.

#### Список використаних джерел

1. Праховник А. В. Інтегроване ресурсне планування енергозабезпечення [Електронний ресурс] / А. В. Праховник, О. В. Кулик. – Режим доступу : [http://esco-ecosys.narod.ru/2006\\_5/art\\_09.doc](http://esco-ecosys.narod.ru/2006_5/art_09.doc).

2. Закапивный Н. Место под солнцем [Электронный ресурс] / Н. Закапивный // Солнечная энергетика. Фотовольтаика и гелиоэнергетика – новости, интервью, бизнес и технологии, анализ тенденций и перспектив. – Режим доступа : [http://solareview.blogspot.com/2012/04/blog-post\\_04.html](http://solareview.blogspot.com/2012/04/blog-post_04.html).

3. *DIgSILENT* GmbH *DIgSILENT* Power Factory version 13.1. Power Factory Manual, Germany, 2005 – 738 с.

4. *Грабко В. В.* Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН : монографія / В. В. Грабко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 109 с.

УДК [621.3:004.031.6](043.2)

**А.С. Ревко**, канд. техн. наук

**Р.Д. Єршов**, аспірант

**Д.О. Наумов**, магістрант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ РОЗПОДІЛЕНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОГО АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ, ЯКИЙ ПРАЦЮЄ У СКЛАДІ ВБУДОВАНОЇ СИСТЕМИ

**А.С. Ревко**, канд. техн. наук

**Р.Д. Ершов**, аспірант

**Д.А. Наумов**, магістрант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЁННОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ КОМБИНИРОВАННОГО АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КОТОРЫЙ РАБОТАЕТ В СОСТАВЕ ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМЫ

**Anatolii Revko**, PhD in Technical Sciences

**Roman Yershov**, PhD student

**Dmytro Naumov**, Master's Degree student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### ENERGY EFFICIENCY ANALYZING IN DISTRIBUTED POWER SYSTEMS BY DINT OF COMBINED ALGORITHM WHICH IS A PART OF EMBEDDED SYSTEM

*Розглянуто сучасні проблеми аналізу енергоефективності та електромагнітної сумісності в Україні. Запропоновано використання комбінованого алгоритму на основі PQ-теорії та швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) для аналізу параметрів електричної енергії та складових потужності; запропоновано архітектуру вбудованої системи для енергоефективності у «розумних мережах» за змодельованим алгоритмом.*

**Ключові слова:** PQ-теорія, ШПФ, потужність, вбудована система, «розумні мережі».

*Рассмотрены современные проблемы анализа энергоэффективности и электромагнитной совместимости в Украине. Предложено использование комбинированного алгоритма на основе PQ-теории и быстрого преобразования Фурье (БПФ) для анализа параметров электрической энергии и составляющих мощности; предложена архитектура встраиваемой системы для анализа энергоэффективности в «умных сетях» на основе смоделированного алгоритма.*

**Ключевые слова:** PQ-теория, БПФ, мощность, встраиваемая система, «умные сети».

*Modern problems of energy analysis and electromagnetic compatibility in Ukraine is analyzed. The use of combined algorithm based both on PQ-theory and the Fast Fourier Transform (FFT) analysis of electric energy parameters and power components is given. The architecture of embedded system for the analysis of energy efficiency in "smart grids" based on previously simulated algorithm is proposed.*

**Key words:** PQ-theory, FFT, power embedded system, "smart grid".

**Вступ.** Останніми роками в Україні спостерігається стрімке зростання рівня споживання електричної енергії населенням. Однією з основних причин цього є збільшення кількості побутових електроприладів у споживачів і, як наслідок, збільшення вірогідності одночасного вмикання великої кількості їх у мережу. Як відомо, не лише якість електричної мережі впливає на роботу приладу, а й сам прилад вносить до мережі завади та погіршує якість електричної енергії, причому кожний тип побутового приладу має унікальний спектр струму споживання, а, отже й завад. Навіть використання приладу, який відповідає всім нормам електромагнітної сумісності (ЕМС), не гарантує того, що