

УДК 621.311

Д.С. Собчук

Луцький національний технічний університет

## **ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ (НДЕ) В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

*В результаті проведеного аналізу впровадженням НВДЕ як перспективного напрямку енергозабезпечення України, впливає що необхідно: провести системне доопрацювання нормативно-законодавчої бази, забезпечити можливості щодо продажу виробленої НВДЕ енергії в мережу; забезпечити необхідний рівень політичної підтримки залученню інвестицій у розвиток НВДЕ, задіяти механізми Кіотського протоколу для фінансування впровадження НВДЕ; забезпечити достатнє фінансування та підтримку науково-технологічних розробок у сфері НВДЕ та створити умови для їх швидкого впровадження. Малі ГЕС встановленою потужністю 100-630 кВт практично не впливають на характерні режими роботи.*

Ключові слова: енергозабезпечення, енергія, мережа, нетрадиційні, джерела.

Не зважаючи на значний потенціал майже всіх видів НВДЕ, достатньо розвинену науково-технічну та промислову базу, велику кількість прийнятих нормативно-законодавчих актів, частка НВДЕ у енергетичному балансі країни залишається незначною. Головними причинами такого стану є відсутність стимулюючої політики держави, недосконалість нормативно-правового забезпечення та невиконання прийнятих рішень, низький рівень фінансування науково-дослідних і конструкторських розробок, недостатній рівень інформування потенційних розробників технологій НВДЕ та споживачів. Біоенергетика, яка в даний час розвивається найбільш інтенсивно потребує оптимізації свого розвитку з врахуванням як потреб паливного, так і продовольчого сектору економіки, а також державного регулювання експорту біопаливної сировини. Пріоритетним напрямком повинно стати виробництво біогазу з промислових, побутових та сільськогосподарських відходів, що забезпечить не тільки виробництво енергії, біодобрив, а також дозволить зробити доквілля більш чистим. Вітроенергетика вже сьогодні могла б вийти на значущий рівень виробітку електроенергії в країні в разі достатнього її фінансування та відповідної державної політики. Для активації цього напрямку необхідно провести технологічне оновлення ВЕС за рахунок більш потужних вітроенергетичних установок (до 1МВт) та вирішити організаційні питання, зокрема, розділення управління розробкою і виробництвом вітчизняних ВЕУ та виробітком і продажем електроенергії виробленої ВЕС. Сонячна енергетика має шанс значно збільшити свій внесок за рахунок впровадження передових вітчизняних розробок сонячних колекторів та відродження виробництва сонячного кремнію в Україні.

Мала гідроенергетика може внести свій вклад в енергопостачання, особливо в регіональному вимірі. Прийняті рішення щодо її відродження потребують свого виконання та цільового використання коштів виділених на реабілітацію та відновлення малих ГЕС. В умовах постійного зростання дефіциту та підвищення вартості енергоресурсів використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є одним з напрямків забезпечення екологічної та енергетичної безпеки України [1].

В останні десятиліття у світі спостерігається стійкий інтерес до проблеми використання поновлюваних джерел енергії [1,2]. Це викликано, у першу чергу, бажанням знизити негативний вплив енергетики на навколишнє середовище. В енергобалансі всіх розвинених країн світу зростає частка відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ). Наприклад, в країнах Євросоюзу розглядається можливість доведення цієї частки в 2020 р. до 20% [2]. Наряду з вітроенергетикою значна роль тут відводиться гідроелектростанціям (ГЕС), зокрема малим ГЕС (МГЕС).

Для України проблема розбудови та експлуатації малих ГЕС не є новою. Пік будівництва МГЕС в Україні мав місце у повоєнні роки, а до кінця 50-х років у країні експлуатувалося 956 станцій на малих річках [3]. Однак, зростання енергоємності промислового виробництва і, як наслідок, підвищення концентрації виробництва електроенергії на великих теплових, гідравлічних, а також атомних електростанціях в умовах практичної відсутності екологічних

вимог та заниженої вартості первинних енергоносіїв призвело до занепаду малої гідроенергетики [1]. Наслідком цього стало фактично повне її руйнування.

Останнім часом в Україні появилось розуміння необхідності відновлення існуючих та будівництва нових малих ГЕС. Проте темпи розвитку малої гідроенергетики на сьогодні стримуються цілим рядом факторів. Основними проблемами в відновленні та експлуатації малих ГЕС є:

- відсутність, як правило, будь-яких документів по водних ресурсах;
- відсутність серійного обладнання, виходячи з чого практично кожна мала ГЕС потребує індивідуального підходу та відповідно індивідуального замовлення обладнання, а це завжди призводить до підвищених капіталовкладень та експлуатаційних видатків;
- великий термін повернення вкладених коштів (за наявної тарифної політики більше 7 років) та відсутність механізму пільгового кредитування зі ставкою менше 9% річних з обсягом кредиту до 5 млн. грн.

Відсутність державної підтримки програм, пов'язаних з відновленням малої гідроенергетики, недоліки податкового законодавства та нормативних документів зі спецводокористування, необґрунтованість тарифів на закупівлю електроенергії у МГЕС, неузгодженість та складність процедур одержання дозвільних документів на будівництво та реконструкцію МГЕС фактично призводять до нерентабельності, і, як наслідок, низької інвестиційної привабливості малої гідроенергетики.

Іншим, не менш важливим, стримуючим фактором на шляху підвищення ефективності використання гідропотенціалу малих річок України, що складає близько 1.1-1.3 млрд. кВт·год [1], та розбудови малих ГЕС є недостатня дослідженість технічних аспектів їх експлуатації у сучасних умовах і, через це, фактична відсутність нормативів та методик забезпечення оптимальних техніко-економічних показників МГЕС на стадії їх проектування та реконструкції [2].

Можна виділити такі важливі технічні аспекти проектування, реконструкції та експлуатації малих ГЕС, що на сьогодні є недостатньо дослідженими:

- використання малих ГЕС в електричних системах з метою підвищення надійності та якості електропостачання споживачів;
- особливості функціонування асинхронних генераторів та перспектив їх використання на малих ГЕС;
- вплив компенсації реактивної потужності на режими роботи малих ГЕС з асинхронними генераторами; розроблення методів і засобів керування джерелами реактивної потужності для покращення режимів пуску та нормальної роботи генераторів ГЕС;
- вплив малих ГЕС на режими роботи розподільних електричних мереж з розробленням методів визначення та оптимізації складової втрат електроенергії від адресних перетоків, що зумовлені роботою ГЕС;
- розроблення концепції автоматизації керування малими ГЕС та їх каскадами для забезпечення їх оптимальної роботи у планових режимах, а також послідовності впровадження автоматизованих систем керування (АСК) для забезпечення їх максимальної техніко-економічної ефективності;
- розроблення методів і засобів контролю поточного стану та діагностування основного обладнання малих ГЕС.

Відсутність рекомендацій щодо вибору способу приєднання до електричних мереж, структури, конструктивних та експлуатаційних параметрів основного обладнання малих ГЕС, здатних забезпечити їх максимальну техніко-економічну ефективність, не дозволяє приймати обґрунтовані проектні рішення під час їх відновлення. Однак, існує достатньо багатий досвід європейських країн [4], спираючись на який здійснюється спорудження та відновлення малої гідроенергетики в Україні. У ряді країн для перетворення енергії в галузі відновлюваної енергетики знайшли широке застосування асинхронні генератори (АГ) змінного струму [4]. Досвід показує, що для ГЕС з малими встановленими потужностями вони мають істотні переваги порівняно з синхронними. Це пов'язано у першу чергу, з низькою вартістю, простотою конструкції та експлуатації у нормальних режимах, стійкістю до зовнішніх аварій, значним ресурсом. Вказані переваги знайшли практичне підтвердження під час експлуатації ряду МГЕС з асинхронними генераторами на території України. Але дані генератори мають ряд недоліків: неможливість регулювання напруги та споживання реактивної потужності, виникнення коливань активної потужності при певних ковзаннях ротора, накиди реактивної потужності під час пуску

агрегату. Для компенсації впливу зазначених факторів необхідно на етапі формування технічних умов закладати в проект додаткове обладнання, що збільшує вартість МГЕС. З погляду на складність та особливості режимного характеру каскадів МГЕС, як об'єктів керування, очевидно, що визначення та своєчасна реалізація керувальних впливів для забезпечення оптимальних режимів їх роботи у відповідності зі змінами зовнішніх впливів можливі лише за допомогою автоматизованих систем керування (АСК), з поступовим підвищенням міри автоматизації. Визначення оптимальних параметрів окремих МГЕС у цьому випадку може здійснюватися за допомогою різноманітних методів оптимізації. Але найбільш адекватне розв'язання даної задачі забезпечують методи та підходи, які дозволяють отримати стійкі функціональні зв'язки між контрольованими параметрами та параметрами керування, що визначені базуючись на фізичних процесах перетворення енергії на малих ГЕС, а також передачі та розподілу електроенергії в ЕЕС. Різне підвищення цін на імпортовані в Україну енергоносії буде стимулювати використання низькопотенційної енергії доквілля і скидної енергії. Серед альтернативних джерел палива і енергії економічно привабливими і доступними є використання шахтного метану і синтез-газу із бурого вугілля торфу, відходів вуглепереробки, впровадження яких дозволить в значному ступені замінити імпортований природний газ і вирішити проблему енергетичної залежності країни. Для цього, крім створення сприятливого інвестиційного клімату та нормативно-правового забезпечення, необхідно залишати в регіонах відповідні фінансові ресурси для цільового використання та підтримки НВДЕ. Для забезпечення Україні гідного місця в виробництві та розподілі нових відновлюваних джерел енергії в майбутньому потрібно вже сьогодні підтримати науково-технічні розробки в нових сферах (воднева енергетика, використання газогідратів Чорного моря та ін.) та підвищення економічних та технічних характеристик видів НВДЕ, які вже використовуються. Економія органічного палива за рахунок використання потенціалу малої гідроенергетики в загальному виробництві енергії на 2020 рік прогнозується в обсязі 69 і 99 млн. т умовного палива відповідно для песимістичного й оптимістичного варіантів розвитку світової енергетики.

До МГЕС у більшості країн ЄС належать гідроенергетичні установки встановленою потужністю до 5 МВт (Австрія, Німеччина, Польща, Іспанія, Франція й ін.). В Італії, Швейцарії та Латвії малими вважають ГЕС з установленою потужністю до 3 МВт, у деяких інших країнах – до 10 МВт (Греція, Ірландія, Португалія, Україна).

Комітет ООН із промислового розвитку до категорії МГЕС відносить гідроелектростанції потужністю до 10 МВт.

КНР запропонувала у країнах Південно-Східної Азії до МГЕС відносити гідроелектростанції з установленою потужністю менше 12 МВт або ГЕС, обладнані агрегатами одиничної потужності до 6 МВт.

У США після впровадження заходів щодо стимулювання розвитку малої гідроенергетики, внесено зміни до класифікації потужностей малої гідроенергетики – верхню межу підвищено з 5 до 15 МВ.

Економія органічного палива за рахунок використання потенціалу малої гідроенергетики в загальному виробництві енергії на 2020 рік прогнозується в обсязі 69 і 99 млн. т умовного палива відповідно для песимістичного й оптимістичного варіантів розвитку світової енергетики.

За 2009 рік в Україні введено в експлуатацію 2 малих ГЕС: Лоташовська МГЕС потужністю 315 кВт в Черкаській області та Яблунецька МГЕС потужністю 1000 кВт в Чернівецькій області (на межі з Івано-Франківською обл.). В 2010–2011 році розпочалось будівництво близько 10 малих ГЕС в Карпатському регіоні України. За даними асоціації «Укргідроенерго», при сприятливих інвестиційних умовах, в Україні є можливість отримати додатково близько 2000 МВт встановленої маневрової потужності на відроджених та знову-збудованих малих гідроелектростанціях.

Станом на 2012 рік в Україні діють близько 30 приватних компаній, що інвестують у відновлювальну енергетику. Найбільші з них: ЗЕА «Новосвіт», ТОВ «Енергоінвест» та інші. Інвестиції направлені були переважно Вінницьку, Черкаську, Хмельницьку, Тернопільську та Житомирську області. На сьогодні тут розташовано 64 % загальної кількості станцій, тоді як технічний гідропотенціал малих річок в цих областях становить всього 14 % загального. Дуже перспективними є Закарпатська та Львівська області, де зосереджено близько 70 % гідропотенціалу малих річок.

Питання використання малих ГЕС в електричних системах з метою підвищення надійності та якості електропостачання споживачів на сьогодні є практично не дослідженими. Важливим тут є дослідження впливу МГЕС на режими роботи розподільних електричних мереж (ЕМ), а також складової втрат електроенергії від адресних перетоків, що зумовлені роботою ГЕС. Недослідженість зазначених питань проявляється у необґрунтовано завищених нормативах втрат електроенергії, що мають відшкодовуватися власниками малих ГЕС у рамках договорів на постачання електроенергії на енергоринок або третім особам. Так, у випадку постачання електроенергії, що виробляється малими ГЕС на енергоринок, типовим договором передбачається компенсація втрат у межах 20%, а у випадку транзиту електроенергії в середині розподільних мереж – у межах 15% від відпущеної електроенергії. Останнє істотно знижує рентабельність інвестицій у відновлення малої гідроенергетики і є одною з причин економічної недоцільності розбудови МГЕС встановленою потужністю 100-350 кВт, що відповідають гідропотенціалу більшості рівнинних річок України.

Дослідження взаємовпливу розподільних електричних мереж та МГЕС, а також математичне моделювання втрат електроенергії, зумовлених адресними перетіканнями від ГЕС до споживача, дозволить сформулювати умови оптимального взаємовпливу МГЕС та електричної мережі. Складність задачі оцінки впливу режимів роботи малих ГЕС на втрати потужності в ЕМ полягає в тому, що втрати потужності залежать від перетоків у вітках схеми мережі нелінійно і скористатися методом накладання неможливо. На даний момент в інженерній практиці використовується ряд методів, що дозволяють виконувати розрахунок зазначеної складової втрат як з однозначно заданою інформацією, так і з імовірно-статистичним оцінюванням втрат [82]. Використання даних методів в розімкнених розподільних мережах, як правило, призводить до виникнення похибки, допустимої на етапі планування режимів ЕМ. Однак, у замкнених розподільних ЕМ збільшується вплив нелінійності функції втрат потужності, що може викликати суттєві помилки обчислення додаткових технічних втрат електроенергії у випадку відхилення режиму ЕМ від планового.

Для розв'язання зазначених проблем у [3] обґрунтовано можливість розв'язання задачі аналізу впливу окремих вузлів генерації на втрати в ЕМ, спираючись на лінійні моделі усталеного режиму ЕМ. Значення повної потужності на початку і в кінці кожної вітки схеми визначається за формулою [3]:

$$\dot{S}_g = \sqrt{3} \dot{U}_g M_\Sigma \hat{I}_g, \quad (1)$$

де  $\dot{U}_g$  – діагональна матриця напруг у вузлах включаючи і базисний;

$M_\Sigma$  – матриця з'єднань віток у вузлах включаючи і балансуючий;

$\hat{I}_g$  – діагональна матриця струмів у вітках схеми (тут і далі знак означає, що матриця або вектор є спряжений).

Згідно [4] зауважимо, що коефіцієнти розподілу втрат залежать від параметрів заступної схеми, які за певних допущень можна вважати постійними, а також від значень напруги у вузлах ЕМ, які визначаються навантаженням і генеруванням у вузлах схеми. Таким чином нелінійність залежності втрат потужності в ЕМ від параметрів її режиму враховується. Визначення коефіцієнтів матриці  $\hat{T}$  через поточні значення вузлових напруг по суті означає лінеаризацію режиму електричної мережі при зафіксованих потужностях у вузлах.

Таким чином, для випадку, коли зміна потужностей у вузлах ЕМ є незначною, тобто не викликає істотних (не більше 1%) відхилень напруги у вузлах, залежність втрат потужності в ЕМ від потужностей у її вузлах можна вважати лінійною. Отже, для дослідження впливу малих ГЕС на втрати потужності в розподільних мережах з прийнятною точністю можна використовувати метод накладання.

Для підтвердження отриманих результатів виконано ряд практичних розрахунків з використанням уточнених методів визначення втрат електроенергії в ЕМ на прикладі малих ГЕС, що були відновлені в наслідок діяльності зовнішньоекономічної асоціації «НОВОСВІТ» та експлуатуються у різних областях України, зокрема Звенигородської, Корсунь-Шевченківської, Чернятської та ін. Зазначені ГЕС характеризуються різними встановленими потужностями (у межах 100-630 кВт), а також схемами приєднання до розподільних електричних мереж 110/35/10 кВ. З результатів розрахунків режимів розподільних ЕМ 110/35 кВ з урахуванням видачі

потужності МГЕС встановлено, що за рахунок неспіврозмірності їх генерації та суміжного навантаження, вплив МГЕС на режими роботи електричних мереж практично співмірний з похибкою розрахунків (відхилення напруги у характерних режимах ЕМ за рахунок впливу малої ГЕС становить 0,1–0,5%).

**Висновок.** Виходячи з цього, можна стверджувати, що малі ГЕС встановленою потужністю 100-630 кВт практично не впливають на характерні режими роботи. У випадку видачі потужності безпосередньо в ЕМ 10 кВ, що характерно для ряду малих ГЕС, їх функціонування істотно впливає на режими мереж. Вирішити питання стабільності електромережі, можна приділяючи особливу увагу підключенню до мережі значних потоків енергії з відновлюваних джерел.

Для зміни ситуації з впровадженням НВДЕ як перспективного напрямку енергозабезпечення України, необхідно:

– провести системне доопрацювання нормативно-законодавчої бази, яке б забезпечило стимули до впровадження НВДЕ, такі як: податкові преференції, пільгове кредитування, лізинг устаткування, прямі субсидії, підвищення тарифів („зелені” тарифи) та ін.

– забезпечити можливості щодо продажу виробленої НВДЕ енергії в мережу;

– забезпечити достатнє фінансування та підтримку науково-технологічних розробок у сфері НВДЕ та створити умови для їх швидкого впровадження.

1. Василько П.Ф. Сучасний стан, потенційні можливості та передумови подальшого розвитку малої гідроенергетики в Україні // Відновлювальна енергетика. – 2006. – № 1. – С. 60-65.
2. Неисчерпаемая энергия. Кн. 3. Альтернативная энергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т. «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2006. – 643 с.
3. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурыкин А.Б. Определение и анализ потерь мощности от транзитных потоков в электрических сетях энергосистем методом линеаризации // Электрические сети и системы. – 2006. – №1. – С. 28-32.
4. Lezhnyuk P.D., Kulyk V.V., Burykin O.B. Electroenergy Systems Interference Analysis // Proceedings of the XIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering ISTET'05. – Lviv, Ukraine. – 2005. – P. 215-218.

Рецензенти: д.т.н., проф. Лежнюк П.Д.  
к.т.н., доц. Грицюк Ю.В.