

Пантелєєва І.В.

Українська інженерно-педагогічна академія

Шматько Н.М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ТЕХНІЧНІ ПИТАННЯ РОБОТИ ОБ'ЄКТІВ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ У СКЛАДІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

У статті представлена оцінка змін, які привели до перегляду вимог до об'єктів генерації, до мережевої інфраструктури і, в цілому, до організації електроенергетики та енергетичних ринків. Зростаючий знос електроенергетичних об'єктів, залучення розподілених енергетичних ресурсів, зміна ролі традиційних джерел енергії та енергоносіїв потребує вивчення факторів нових технологій в електроенергетиці. Зростаючий знос електроенергетичних об'єктів, залучення розподілених енергетичних ресурсів, зміна ролі традиційних джерел енергії та енергоносіїв, збільшення попиту на електроенергію та трансформація його якісних характеристик, зміна моделі поведінки споживачів – все це потребує вивчення факторів поширення нових технологій в електроенергетиці для переходу до наступного етапу. У багатьох країнах світу зараз, поряд з розвитком централізованого енергопостачання, все більш активно підтримується тенденція широкомасштабного переходу до розподіленої генерації (РГЕ). Нерідко ці два види енергопостачання протиставляються друг відносно друга з переважною перевагою РГЕ, яка має найбільшу конкурентоспроможність. Разом з тим, кожний з них має свою сферу застосування, де в найбільшому ступені виявляються переваги. Однак, світовий досвід показує, що зі збільшенням частки розподіленої генерації, виникає необхідність рішення ряду проблем регулювання частоти, наружи об'єктами розподіленої генерації. Розвиток розподіленої генерації потребує відповідних документів, які регламентують вимоги до об'єктів розподіленої генерації та їх підключення до енергосистеми, враховуючі особливості та характеристики цих об'єктів. У статті розглянуті основні проблемні технічні питання, причини їх виникнення, режими роботи систем електропостачання споживача з власним об'єктом розподіленої генерації у випадку рішення задачі забезпечення надійного електропостачання від об'єкта розподіленої генерації. Найбільш суттєвими умовами для конкуренції технологій розподіленої енергетики та їх інтеграція з енергосистемами на конкретній території є наявність централізованих систем газо- та електропостачання. Визначено що об'єкти РГ продовжують підключатись на паралельну роботу з енергосистемою та створюють певні технологічні труднощі і проблеми. Отже, їх не обхідно вирішувати вже зараз, поки не проявився негативний синергетичний ефект, коли стануть можливими масові відключення споживачів електроенергії через невиконання певних техніко-технологічних вимог до інтеграції об'єктів РГ в енергосистему.

Ключові слова: електроенергія, електропостачання, розподілена генерація, генеруючі установки, енергосистема, об'єкт розподіленої генерації, відновлювані джерела енергії.

Постановка проблеми. Розподілена енергетика – каталізатор та ключовий елемент «енергетичного переходу» від традиційної організації енергосистем до нових технологій та практик. Енергетичний перехід здійснюється на базі децентралізації, цифровізації, інтелектуалізації систем енергопостачання (СЕП), з активною участю самих споживачів та всіх видів енергетичних ресурсів. Характеризується цей перехід підвищенням енергетичної ефективності та зниженням викидів парникових газів (за рахунок відновлювальних джерел енергії).

В останні роки сталися зміни, які привели до перегляду вимог до об'єктів генерації, до мере-

жевої інфраструктури та в цілому до організації електроенергетики та енергетичних ринків. Зростаючий знос електроенергетичних об'єктів, залучення розподілених енергетичних ресурсів, зміна ролі традиційних джерел енергії та енергоносіїв, збільшення попиту на електроенергію та трансформація його якісних характеристик, зміна моделі поведінки споживачів – все це потребує вивчення факторів поширення нових технологій в електроенергетиці для переходу до наступного етапу.

У багатьох країнах світу зараз, поряд з розвитком централізованого енергопостачання, все більш активно підтримується тенденція широкомасштабного переходу до розподіленої генера-

ції (PGE). Нерідко ці два види енергопостачання протиставляються друг відносно друга з переважною перевагою PGE, яка має найбільшу конкурентоспроможність. Разом з тим, кожний з них має свою кращу сферу застосування, де в найбільшому ступені виявляються переваги.

Однак, світовий досвід показує, що зі збільшенням частки розподіленої генерації (РГ), у тому числі і на основі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), виникає необхідність рішення ряду проблем регулювання частоти об'єктами РГ. Забезпечення стійкої роботи РГ тощо. В Україні ці проблеми пов'язані, з однієї сторони, із станом, експлуатацією та особливостями побудови розподільчих мереж, з іншої – особливостями побудови розподільчих мереж, з іншої – особливостями функціонування самого джерела РГ у нормальних та аварійних умовах [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Світові тенденції розвитку енергетики демонструють пріоритетну реалізацію нових можливостей на основі втілення технологій інтелектуальних електроенергетичних систем (smart grid), когенерації, виробництва енергії на основі використання ВДЕ. У ряді країн спостерігається тенденція уходу від централізованої енергетики у напрямку розвитку розподіленої енергетики. Наприклад, у США експлуатується біля 12 млн установок малої розподіленої енергетики загальною встановленою потужністю вище 220 ГВт, а темпи приросту складають приблизно 5 ГВт, а темпи джерела резервної потужності для енергопостачання споживачів в аварійних ситуаціях [1, 2].

Тобто пріоритет вводу PGE у світі зростає та його розрив відносно традиційних енергоджерел буде тільки збільшуватись. Разом з тим, стохастичний характер ВДЕ та діяльність оптимального використання встановленої потужності будуть сприяти їх об'єднанню централізованою мережею з метою сумісної роботи.

Можливість роботи розподілених енергоджерел як на загальну з централізованими джерелами мережу, так і на індивідуальні споживачі (промислові та агропромислові підприємства) створює умови для інтеграції секторів централізованого та ізольованого (децентралізованого) виробництва енергії [3].

Отже, дослідження різних аспектів розвитку РГ стало актуальною проблемою в останні роки. В роботах [4, 5] розглянуті основні переваги, загальносистемні ефекти та проблеми технологічного приєднання розподілених джерел енергії у розподільчі мережі. В [6] розглянуті основні

питання функціонування електричних мереж з РГ, у тому числі проблеми релейного захисту, погодинного завантаження, якості електроенергії пристроїв розподіленої генерації. У [7] представлені дослідження режимної надійності СЕП з РГ та обліком каскадних відмов, моделі для визначення граничних режимів в електричних мережах а також методи для оцінки параметрів режиму енергорайонів з об'єктами РГ. У багатьох роботах приділяється увага оцінці надійності СЕП, у тому числі оцінці можливості забезпечення надійного електропостачання споживачів за рахунок будівництва об'єктів РГ [8]. Крім того, РГ енергії розглядається як один з факторів підвищення енергетичної безпеки та стійкого розвитку регіонів [9].

Не дивлячись на значну кількість публікацій, які освітлюють різні аспекти використання розподіленої генерації, немає робіт, пов'язаних з оцінкою її впливу на попит на електроенергію, ціну та структуру її виробництва у регіоні, а також проблемними технічними питаннями роботи об'єктів РГ у складі енергосистеми. Не дуже висвітлена також і конкурентоспроможність PGE по інтеграції з централізованими системами.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз основних технічних питань застосування генеруючих установок середньої та малої потужності на об'єктах розподіленої генерації, причина їх виникнення, та умови конкурентоспроможності PGE.

Виклад основного матеріалу дослідження. В Україні, як і в будь-якій країні світу, спостерігається щорічний зріст введів об'єктів РГ за рахунок теплових електростанцій з газотурбінним (ГТУ), дизельними (ДЕС) та газопоршневими установками (ГПУ), які, як правило, підключаються до розподільчих електричних мереж або до мереж внутрішнього електропостачання промислових підприємств та споруджуються власниками великих промислових підприємств газодобувної, металургійної хімічної галузей промисловості.

У більшості випадків такий розвиток РГ обґрунтований включно економічними аспектами, а саме:

- Можливістю використання вторинних енергоресурсів (шахтного газу, доменного та конвертного газу, тощо) з можливістю вироблення теплової та електричної енергії;
- Можливістю використання вторинних енергоресурсів на середній та дрібних підприємствах (утилізація біогазу на очисних спорудах, утилізація виходів лісопереробки та сільського господарства).
- Можливістю спорудження когенераційних та установок на існуючих муніципальних та

виробничих котельних при їх рокектрукції та модернізації;

- Доступністю газової інфраструктури з необхідними обсягами поставки природного газу для будівництва власного об'єкту РГ;
- Можливістю використання детандер-генераторних агрегатів для вироблення електричної енергії (газорозишрювальні турбіни спеціальної конструкції на газоредуцируючих пунктах магістральних газопроводів);
- Складності або відсутності економічної доцільності технологічного приєднання до електричних мереж;
- Значною вартістю послуг по передачі та розподілу електричної енергії.

По експертним оцінкам величина виробництва електроенергії від об'єктів РГ 2030 року може досягнути третини від загального обсягу відпуски електричної енергії для промислових споживачів. На територію України було введено обладнання малої та середньої генерації загальною потужністю 750 МВт тільки за 2020–2021 р., а споживання зросло на 30%, при цьому споживання в Єдиній енергосистемі (ЄЕС) зросло тільки на 3% [10].

Розвиток РГ викликає багато дискусії серед спеціалістів у законодавчій, економічній, а також у технічній сферах регулювання, при цьому зараз практично відсутні окремі нормативно-технічні акти, та документи, які регламентують вимоги до об'єктів РГ та їх підключення до енергосистеми, враховуючі особливі та характеристики цих об'єктів.

Використання сучасних генеруючих установок (ГУ) середньої та малої потужності пов'язане з рядом технічних проблем, дуже суттєвих як для власних об'єктів РГ, так і для розподільчих мережевих компаній, до мереж яких підключаються [11].

З проблемами технічних питань можна назвати наступні:

- Механічні пошкодження ГУ через дію ударних електромагнітних моментів при виникненні багатофазних КЗ або АПВ у зовнішній електричній мережі;
- Порушення динамічної стійкості ГУ при багатофазних КЗ у зовнішній мережі;
- Неселективні відключення генераторів при відсутності загрози механічного або термічного пошкодження при виникненні та ліквідації коротких замикань захистами електромережевих елементів;
- Передачі відключення ГТУ технологічними захистом при зниженні частоти в ЄЕС або відокремленому енергорайоні;

- Виникнення синхронних коливань ГУ (незатухаючі синхронні коливання активної потужності на ГУ), які обумовлені виробом параметрів АРЗ;
 - Неможливість забезпечення регулювання частоти обертання генераторів у двох станах: при паралельній роботі з мережею та при ізольованій (автономній) роботі;
 - Неуспішні виділення ГУ дією автоматики на збалансоване навантаження (АВЗН) у зв'язку з відключенням ГУ технологічними захистами при різних накидах;
 - Неможливість тривалої роботи після спрацювання АВЗН через наявність обмежень по технологічному мінімуму. Навантаження на ГУ (діапазон від одиниць до десятків відсотків від $P_{ном}$);
 - Значні складності у забезпеченні селективного відключення КЗ у мережі, а також прямих пусків електродвигунів при ізольованій (автономній) роботі ГТУ з тиристорними перетворювачами частоти (ТПЧ);
 - Підвищений знос регулюючих клапанів при відсутності зони нечутливості в автоматичних регуляторах частоти обертання ГУ;
 - Відключення ГУ захистом від підвищення вібрації через виникнення рутинних коливань при скиданні навантаження потужними електродвигунами з тиристорними приводами при автономній роботі об'єкта РГ.
- Насправді існує декілька причин, чому постійно необхідно проводити аналіз проблемних питань, які виникають з об'єктами РГ:
- Виникнення труднощів при отриманні технічних умов на технологічне приєднання до електричних мереж, узгодженні проєктних рішень або в процесі експлуатації ГУ;
 - Зниження економічної ефективності від втілення ГУ, яка очікувалась;
 - Неможливість забезпечення надійного електропостачання споживачів від об'єкту РГ (у тому числі основного виробничого процесу) в автономному режимі роботи;
 - Прискорене вичерпання ресурсу генеруючих обладнанням з необхідністю проведення довгострокового ремонту або технічного обслуговування;
 - Пошкодження генеруючих установок при нормативних збуреннях у мережах зовнішнього електропостачання.
- Нерідко причинами виникнення проблемних питань бувають:
- Невірний вибір виду, типу, потужності ГУ на етапі проєктування;

- Невірний вибір режимів роботи ГУ;
- Відсутність принципово важливих пунктів вимог в технічному завданні на закупку ГУ;
- Неповне чинне виконання проекту схеми видачі потужності ГУ об'єктів РГ без обліку особливостей мереж зовнішнього або внутрішнього електропостачання та впливу навантаження;
- Незадовільна організація експлуатації ГУ.

Однак, об'єкти РГ продовжують підключатись на паралельну роботу з енергосистемою та створюють певні технологічні труднощі і проблеми. Отже, їх не обхідно вирішувати вже зараз, поки не проявився негативний синергетичний ефект, коли стануть можливими масові відключення споживачів електроенергії через невиконання певних техніко-технологічних вимог до інтеграції об'єктів РГ в енергосистему.

Важливо відмітити, що можливе існування трьох режимів роботи СЕП споживача з власними об'єктами РГ, у випадках вирішення задачі забезпечується надійного електропостачання від об'єкта РГ:

1) Паралельна робота енергооб'єкта з енергосистемою, з видачею або без видачі потужності у мережу. У цьому випадку забезпечується робота об'єкта РГ за рахунок отримання з енергосистеми пікової потужності та видача в енергосистему надлишків потужності, що дозволяє забезпечити надійне електропостачання власних споживачів та підвищити техніко-економічні показники роботи об'єкта РГ;

2) Ізольована робота енергооб'єкта з забезпеченням електропостачання власних споживачів з обліком їх графіків навантаження а також забезпечення ремонтного та аварійного резерву;

3) Комбінований режим, коли енергооб'єкт працює паралельно з енергосистемою, але у випадку виникнення режиму великих рядків або при аварії у мережі зовнішнього електропостачання може бути відокремлений на ізольовану роботу з живленням споживачів від об'єкту РГ.

Другий та третій режим роботи свої значні особливості, але в даній роботі вони не розглядаються. Слід звернути увагу на питання, які дозволять забезпечити технологічне приєднання об'єктів РГ у мінімально можливі терміни та знизити ризики виникнення проблемних технічних питань при експлуатації ГУ об'єктів РГ.

При технологічному приєднанні об'єкта РГ для здійснення паралельної роботи з енергосистемою необхідна тісна взаємодія всіх його учасників, а їх як правило, п'ять: власники ГУ, виробники ГУ, проектні організації, розподільчі мережеві компанії, та філіали об'єднаної енергосистеми [12].

Власники повинні надавати повну вихідну інформацію про параметри навантаження, режимах та графіках його роботи. Виробники володіють повною технічною інформацією про всі параметри ГУ, електричні та технологічні захисти алгоритми та параметри налаштування САУ.

Крім того необхідно отримати наступне дані та відповіді на питання, які дозволять виконати необхідні розрахунки для прийняття основних технічних рішень у відношенні ГУ об'єкта РГ:

- Розширені параметри генератора (X_d , тощо);
- На яку роботу розрахована система регулювання швидкості обертання генератора;
- Особливості системи збудження генератора;
- Приводний двигун генеруючої установки та його особливості;
- У яких діапазонах допустила тривала робота ГУ без спрацювання електричних захистів:
 - по потужності ($P_{тіп}$, Z_{max} , у % від $P_{ном}$),
 - по напрузі, (U_{min} , U_{max} у % від $U_{ном}$),
 - по частоті (f_{min} , f_{max} у % від $f_{ном}$);
- Електричні захисти генераторів, які діють на відключення ГУ при значних відхиленнях параметрів режиму від нормальних значень;
- Як забезпечується збереження механічної міцності установки;
- Термічна стійкість генератора при зовнішньому трифазному КЗ поблизу виводів генератора.

Найбільш суттєвими умовами для конкуренції технологій РГЕ та інтеграції з енергосистемами на конкретній території та в конкретному місці є наявність централізованих систем газо- та електропостачання (рис. 1).

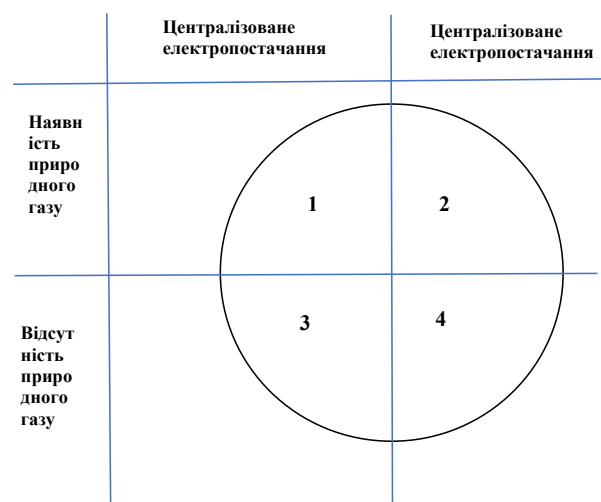


Рис. 1. Умови конкуренції технологій РГЕ

Проектні організації здійснюють розробку проекту схеми видачі потужності об'єктом РГ, видачу ТУ на розподільчі мережеві компанії здійснюють технологічне приєднання узгоджують основні технічні рішення.

Ще одне питання, яке недостатньо висвітлюється при розгляданні розподіленої енергетики це її конкурентоспроможність по інтеграції до централізованих енергосистем.

На них території, де доступні обидві централізовані системи (текст із роботи)

Висновки.

1. Оцінений загальний вклад РГ в енергетику: завдяки близькості до споживача вона має порівняно меншій мережеві витрати при розподілу електроенергії, може забезпечити виконання більш високий вимог споживачів по якості енергії та надійності енергопостачання.

2. Систематизовані основні проблемні питання застосування сучасних генеруючих установок середньої та малої потужності на об'єктах розподіленої генерації.

3. визначені учасники процес технологічного приєднання об'єктів РГ для здійснення паралельної роботи з енергосистемою, та роль кожного з цих

4. визначенні умови інтеграції РГЕ з енергосистемами на конкретній території. Можна відзначити, - що застосуванню технологій РГЕ, включаючи відновлювані джерела енергії, буде сприяти посилення мотивації суб'єктів відносин: для споживачів до участі в управлінні режимами, резервуванню потужності, продажу надлишків енергії, для постачальників- до підвищення відповідальності за недопостачання та якість електроенергії.

Список літератури:

1. Зарубіжний досвід енергетичної статистики міжнародних організацій (МЕА, Євростат, ООН). Нормативно-правове забезпечення та авторизовані системи збору і оброблення інформації енергетичної статистики. Київ, 2015. URL: <http://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/Statystyka-energetyka.pdf>
2. Розподілена генерація електроенергії – глобальні тенденції розвитку. URL: <http://uare.com.ua/новуну/453-rozpodilena-generatsiya-elektroenergiji-globalni-tendensiji-rozvitky>
3. Hansen C.J. Bower J. An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies. Oxford Institute for Energy Studies and Dept. of Geography, Oxford University, 2017. 59 p.
4. Законодавчі ініціативи у сфері альтернативної енергетики. Держенергоефективності. 2017. 24 с. URL: www.sciee.gov.ua.
5. Механізми фінансування заходів енергоефективності в Україні. Мінрегіон України. 2017. 64 с. URL: <http://es.esso.agency/images/art/3-2017>
6. Дячук О.А. Перехід України на відновлювальну енергетику до 2050 року. 2017. 29 с. URL: http://www.energybrainpool.com/fileadmin/download/Studie_20170626.
7. Damodaran A. Strategic Risk Taking: a framework for risk management. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2018. 388 p.
8. Huenteler J., Schmidt T.S. Ossenbrink J. Technology life-cycles in the energy sector-Technological characteristics and the role of deployment for innovation//Technological Forecasting and Social Change Vol. 104. 2020. P. 102-121.
9. Hossain M, Madloul N., Rahim N. Role of smart grid in renewable energy: An overview // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 60, 2019. P. 1168-1184.
10. Карпалюк І.Т., Карюк А.О., Іерусалімова Т.С. Вплив розподіленої генерації на параметри енергосистеми. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, вип. 187 «Проблеми енергобезпечення та енергопостачання в АПК України», 2017. С. 40-43.
11. Пантелєєва І.В., Шматко Н.М. Сучасний стан економічного розвитку мікроГЕС у світі. Вісник НТУ «ХПІ». 2016. № 47 (1219). С. 101-104.
12. Popov O., Shmatko N., Budanov P., Pantelieieva I., Brovko K. Cost-effectiveness in
13. mathematical modelling of the power unit control. Eastern-Europian Journal of Enterprise Technologies. 2019. 6/3(102). P. 20-28.

Pantelieieva I.V., Shmatko N.M. TECHNICAL ISSUES OF THE OPERATION OF DISTRIBUTED GENERATION FACILITIES AS PART OF THE ENERGY SYSTEM

The article presents an assessment of the changes that led to the revision of requirements for generation facilities, network infrastructure and, in general, the organization of the electric power industry and energy markets. The growing wear and tear of electric power facilities, the involvement of distributed energy resources, and the changing role of traditional energy sources and energy carriers require the study of the factors of new technologies in electric power. The growing wear and tear of electric power facilities, the attraction of distributed energy resources, the change in the role of traditional energy sources and energy

carriers, the increase in demand for electricity and the transformation of its quality characteristics, the change in the behavior of consumers - all this requires the study of the factors of the spread of new technologies in the electric power industry in order to move to the next stage. In many countries of the world, along with the development of centralized energy supply, the trend of large-scale transition to distributed generation (DGE) is increasingly being supported. Often, these two types of energy supply are opposed to each other with the overwhelming advantage of RGE, which has the greatest competitiveness. At the same time, each of them has its best field of application, where the advantages are most evident. However, world experience shows that with the increase in the share of distributed generation, there is a need to solve a number of problems of frequency regulation, in addition to distributed generation facilities. The development of distributed generation requires relevant documents that regulate requirements for distributed generation facilities and their connection to the power system, taking into account the peculiarities and characteristics of these facilities. The article discusses the main problematic technical issues, the reasons for their occurrence, the modes of operation of the consumer's power supply systems with its own distributed generation facility in the case of solving the problem of ensuring reliable power supply from the distributed generation facility. The most essential conditions for the competition of distributed energy technologies and their integration with energy systems in a specific territory are the presence of centralized gas and electricity supply systems. It was determined that WG objects continue to be connected to parallel work with the power system and create certain technological difficulties and problems. Therefore, it is not necessary to solve them now, before a negative synergistic effect is manifested, when mass disconnections of electricity consumers will become possible due to non-fulfillment of certain technical and technological requirements for the integration of RG facilities into the power system.

Key words: electricity, power supply, distributed generation, generating facilities, power system, distributed generation object, renewable energy sources.