

ЕНЕРГЕТИКА ТА НОВІ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.20535/kpissn.2020.4.207712

УДК 621.311

Ю.В. Чернецька*, А.І. Замулко
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна
*corresponding author: j.chernetska@ukr.net

МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ РОЗВИТКУ СИСТЕМ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Проблематика. В Україні триває робота над концепцією впровадження Smart Grid, що має стати невіддільною частиною планування розвитку систем розподілу електричної енергії. Одним із не вирішених завдань є організація обміну інформацією щодо розвитку систем розподілу між усіма заінтересованими сторонами з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних рішень.

Мета дослідження. Розробити узагальнену модель інформаційної платформи для планування розвитку систем розподілу електричної енергії та поширення технологій Smart Grid в енергетичній системі України.

Методика реалізації. Проаналізовано досвід Європейського Союзу (ЄС) у плануванні розвитку систем розподілу електричної енергії в частині організації взаємодії заінтересованих сторін. За допомогою системного підходу опрацьовано вимоги чинних в Україні нормативних документів щодо планування розвитку систем розподілу. Графічними засобами уніфікованої мови моделювання (UML) формалізовано структуру моделі запропонованої інформаційної платформи.

Результати дослідження. Визначено, що в ЄС організують обмін інформацією для цілей планування розвитку систем розподілу, паралельно використовуючи різні інструменти: спеціалізовані інституції для комунікації заінтересованих сторін; спілки національних регуляторів; звіти наукових установ про досвід реалізації проектів Smart Grid; інформаційно-технологічні платформи для моделювання системи розподілу електричної енергії спільно з її користувачами. Досліджено наявну в Україні схему взаємодії суб'єктів, безпосередньо чи опосередковано залучених до планування розвитку систем розподілу; для усунення виявлених негативних аспектів обміну інформацією між ними запропоновано розробити інформаційно-технологічну платформу "Ukrainian Smart Energy – USE". Узагальнену структуру платформи USE формалізовано за допомогою UML-діаграми класів; показано зміст даних, доступних для перегляду й обов'язкових для опублікування різними класами користувачів цієї платформи, залежно від їхніх функцій.

Висновки. Запропонована модель інформаційної платформи USE є основою подальших досліджень у напрямі розроблення відповідної інформаційно-технологічної платформи.

Ключові слова: система розподілу електричної енергії; планування розвитку; UML; інформаційна платформа; Smart Grid.

Вступ

Досягнення цілей Енергетичної стратегії України на період до 2035 р. "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність" щодо нарощування частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) вимагає подальшої лібералізації ринку електричної енергії згідно з положеннями Закону України "Про ринок електричної енергії". Кількість незалежних учасників ринку електричної енергії суттєво зростає, тому для Міністерства енергетики України (Міненерго), яке формує та реалізує енергетичну політику держави, набуває актуальності нове завдання – забезпечувати узгодженість інвестицій у генерувальні потужності з інвестиціями в об'єкти електричних мереж.

Станом на початок 2020 р. встановлена потужність об'єктів ВДЕ в енергосистемі України складає 6 932 МВт; понад 60 % із них уведено в

експлуатацію у 2019 р., залучено близько 3,8 млрд євро інвестицій [1]. У більшості випадків це електростанції потужністю до 20 МВт, приєднані до систем розподілу електричної енергії, що за наведеним у [2] визначенням належать до розподіленої генерації (РГ). За даними Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) [3], попит на послуги з приєднання електроустановок до систем розподілу електричної енергії зростає впродовж останніх п'яти років; ідеться не лише про РГ, а й про приєднання електроустановок споживачів. Лише за договорами 2018 р., оператори систем розподілу (ОСР) надали понад 60 тис. послуг із приєднання на 4 126 МВт встановленої потужності. В зазначених умовах важливо, щоб ОСР інвестували кошти в розвиток власних електричних мереж, використовуючи сучасні технології.

Кодекс систем розподілу зобов'язує кожного ОСР планувати на наступні 5 років обсяги нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення системи розподілу з метою: своєчасного забезпечення необхідної пропускної здатності системи розподілу для потреб її користувачів; надійної, безпечної та ефективної експлуатації системи розподілу; зниження технологічних витрат електроенергії та її комерційних втрат [4]. Необхідно також зазначити, що з 2018 р. в Мінекоенерго (Міненерго) триває робота над розробленням концепції впровадження “розумних мереж” (Smart Grid) [5]. Заразом конструктивна взаємодія всіх суб'єктів, залучених до планування розвитку систем розподілу електричної енергії, вимагає вільного обміну між усіма стейкхолдерами інформацією про досвід застосування технологій Smart Grid, нинішній стан і заплановані ОСР зміни у функціонуванні систем розподілу, необхідні для цього обсяги інвестицій. На цьому етапі бракує такого єдиного інформаційного простору, що суттєво ускладнює для Мінекоенерго (Міненерго) виконання завдань щодо погодження інвестиційних програм ОСР.

Моделюванню процесів організації інформаційного обміну даними та документами між учасниками ринку електричної енергії присвячена стаття [6]. У ній автори наголошують на необхідності використання в Україні стандартизованої рольової моделі європейського ринку електричної енергії, сконструйованої засобами уніфікованої мови моделювання (UML), і наводять різні типи UML-діаграм для одного з сегментів ринку електроенергії України – ринку “на добу наперед”.

Актуальна редакція рольової моделі європейського ринку електричної енергії [7] призначена передусім для узгодження спільної роботи електроенергетичних ринків різних країн Європейського Співтовариства (ЄС), і, відповідно, акцент у ній – на системах передачі; зокрема, контролюється пропускна здатність міждержавних перетинів для забезпечення перетоків електричної енергії між окремими енергосистемами. Ця модель описує лише ринкові транзакції, пов'язані з купівлею/продажем електричної енергії, у ній розвиток системи передачі або розподілу згадується виключно як одне із завдань оператора системи.

Важливу роль у плануванні розвитку систем розподілу відіграє регулятор ринку електричної енергії, оскільки навіть на лібералізованих ринках ОСР залишаються природними монопо-

ліями, та їхня діяльність підлягає регулюванню. У статті [8] наголошено на необхідності через тариф на послуги з розподілу створювати для ОСР стимули підвищувати ефективність витрат і сприяти поширенню технологій Smart Grid.

Однією з перших спроб організувати вивчення передового досвіду впровадження новітніх технологій та обладнання під час нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення електричних мереж в Україні стало прийняття нормативного документа [9], що був розроблений у 2012 р. за участі авторів цієї публікації. У документі було передбачено реалізацію пілотних проєктів із впровадження новітніх технологій та обладнання за рішенням науково-технічної ради профільного міністерства, а також зазначено основні напрямки комплексної програми інноваційного розвитку підприємств електричних мереж, серед яких:

- застосування нових типів силового устаткування;
- впровадження нових засобів релейного захисту та протиаварійної автоматики, діагностики обладнання та обліку енергоресурсів на мікропроцесорній основі;
- створення сучасних систем моніторингу та керування режимами мережі й обладнанням для аналізу стану та видачі керуючих сигналів у режимі реального часу;
- впровадження обладнання та систем із високими показниками енергетичної ефективності, сучасних пристроїв компенсації реактивної потужності.

Але на практиці цей нормативний документ не став для Мінекоенерго (Міненерго) дієвим інструментом реалізації науково-технічної політики у сфері розподілу електричної енергії. По-перше, його вимоги обов'язкові лише для державних підприємств і підприємств, щодо яких Міністерство здійснює управління корпоративними правами держави, тобто охоплюються далеко не всі ОСР, які працюють в Україні. По-друге, для обміну інформацією та результатами не передбачено використання сучасних засобів; звітні дані в кращому разі передаються до Міністерства та далі не мають достатньо широкого обговорення у професійному середовищі.

У країнах ЄС ще на початку двохтисячних років почали створювати спеціальні технологічні платформи – комунікаційні майданчики для взаємодії науки, бізнесу, споживачів і держави з метою розроблення та впровадження найбільш прогресивних технологій у різних галузях еко-

номіки. Європейська технологічна платформа для Smart Grid була започаткована у 2005 р. й об'єднала представників промисловості, операторів систем розподілу та передачі електроенергії, дослідницькі установи та регуляторів ринку [10]. Це дало змогу сформуванню спільну візію та стратегію розвитку електричних мереж ЄС до 2020 р. та далі, а також розробити концепцію Smart Grid для інтеграції в єдину енергетичну систему зростаючого числа ВДЕ. Більш ретельне вивчення цього досвіду є актуальним для України й з огляду на участь у Договорі про заснування Енергетичного Співтовариства з ЄС, і через те, що концепція впровадження Smart Grid нині лише на етапі обговорення. Але не менш важливо враховувати особливості національного законодавства, яке регламентує планування розвитку систем розподілу та функціональні ролі ОСР на ринку електричної енергії України.

Саме поняття “платформа” в контексті використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій має дуже широке трактування. Концептуальне визначення було запропоноване авторами статті [11]: інформаційно-технологічна платформа – це технологічна база, на якій комплементарні доповнення можуть взаємодіяти, дотримуючись стандартів і дозволяючи здійснювати транзакції між стейкхолдерами в межах платформоцентричної екосистеми.

Розроблення інформаційно-технологічної платформи для планування розвитку систем розподілу в умовах подальшої лібералізації ринку електричної енергії України є досить новою проблемою, її вирішення потребує підготовчої роботи. Йдеться про виявлення всіх заінтересованих і причетних до планування сторін, формалізацію необхідного інформаційного обміну даними між ними, опис самої платформоцентричної екосистеми. Назвемо цей етап опрацюванням моделі інформаційної платформи, свідомо виключивши технологічні аспекти її реалізації.

Постановка задачі

Метою роботи є розроблення, із врахуванням досвіду ЄС і на основі аналізу вимог нормативних документів, моделі інформаційної платформи для планування розвитку систем розподілу електричної енергії та поширення технологій Smart Grid в енергетичній системі України, що дозволить створити відповідну інформаційно-технологічну платформу.

Аналіз досвіду ЄС у плануванні розвитку систем розподілу електричної енергії

Планування розвитку систем розподілу електроенергії в країнах ЄС протягом останнього десятиліття підпорядковується загальній концепції Smart Grid [12, 13]. Це складник енергетичної політики ЄС, спрямованої на декарбонізацію економіки, що супроводжується розробленням інновацій й активним поширенням кращого досвіду їх застосування спеціально створеними інституціями [14]. У межах функціонування згаданої вище Європейської технологічної платформи для Smart Grid були започатковані аналогічні платформи на національному чи регіональному рівнях [15]. Цілі функціонування зазначених платформ є досить різноманітними (рис. 1), основні з них пов'язані із забезпеченням комунікації між стейкхолдерами та підтриманням переходу до сталих енергетичних систем. Так, робота національних платформ допомагає реалізувати спільну для ЄС стратегію та водночас враховувати відмінності в політичних, економічних, соціальних і технологічних передумовах для впровадження технологій Smart Grid, об'єктивно наявних у досить різних країнах співтовариства.

Після прийняття Європейською комісією Інтегрованого Стратегічного плану енергетичних технологій до науково-дослідної та інноваційної діяльності починає застосовуватися більш комплексний і системний підхід, що передбачає не так зосередження на конкретній технології, як розгляд енергетичної системи загалом [16]. Так, у 2017 році на базі Європейської технологічної платформи для Smart Grid створюється Європейська технологічна та інноваційна платформа SNET (Smart Networks for Energy Transition), яка залучає ще ширше коло стейкхолдерів, заінтересованих у енергетичній трансформації, зокрема провайдерів технологій акумулювання енергії, гнучкої теплової генерації, підприємств газових і теплових мереж, транспортного сектору. Запропонована платформою SNET візія 2050 р. [17] залишає електричні мережі в основі майбутніх низьковуглецевих енергетичних систем, але посилює інтеграцію всіх мереж енергоносіїв і можливості акумулювання енергії. Так, основним завданням платформи SNET у довгостроковій перспективі стає скеровування досліджень, розробок й інновацій в енергетиці відповідно до зазначеної візії.

Огляд пілотних проєктів Smart Grid, реалізованих у країнах ЄС, починаючи з 2011 р.,

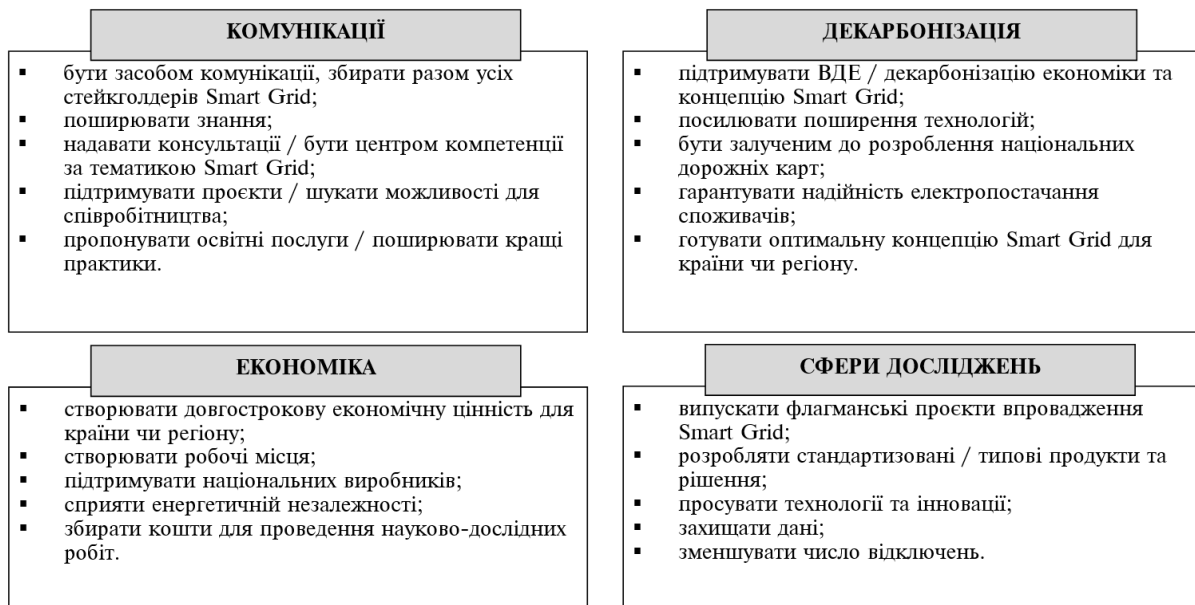


Рис. 1. Повний перелік цілей функціонування національних платформ для Smart Grid (складено на основі каталогу платформ [14])

періодично готує Об'єднаний дослідницький центр Європейської Комісії. Останній такий звіт [18] містить інформацію про 950 науково-дослідних і демонстраційних проектів, ґрунтовний аналіз яких дозволяє виявити кращі практики застосування технологій Smart Grid і поширювати цей досвід серед європейських країн. Також значна увага у звіті зосереджена на залученні інвестицій із приватного сектору та побудові успішного партнерства між різними стейкхолдерами.

Детальні правила планування розвитку систем розподілу електроенергії визначаються кодексами національного рівня, які розробляються регуляторами ринку електроенергії в кожній країні окремо із врахуванням технічних й організаційних особливостей сфери розподілу. Водночас європейські регулятори досить тісно співпрацюють у межах профільних організацій – менш формальної Ради європейських енергетичних регуляторів (Council of European Energy Regulators, CEER), заснованої у 2000 р., й ініційованої Європейською комісією Агенції для співпраці енергетичних регуляторів (Agency for the Cooperation of Energy Regulators, ACER), заснованої у 2011 р. Імплементация нового енергетичного пакета ЄС “Чиста енергія для всіх європейців” (короткий огляд пакета наведено в [19]) вимагає координації дій регуляторів не лише на

рівні систем передачі електроенергії, а й на рівні регулювання діяльності ОСР. Це дозволяє зробити висновок, що в рамках ЄС вимоги регуляторів до планування розвитку систем розподілу електроенергії ставатимуть дедалі більш уніфікованими.

Серед нових ініціатив Об'єднаного дослідницького центру Європейської Комісії – проєкт DiNeMo (Distribution Network Model), представлений у звіті [20]. Це спеціалізована вебплатформа, на якій користувачі системи розподілу можуть залишати запити про приєднання та спільно моделювати систему розподілу міста, використовуючи індикативні характеристики мереж ОСР, розраховані на базі реальних даних. Фактично, DiNeMo є саме інформаційно-технологічною платформою, що розробляється в ЄС для цілей планування розвитку систем розподілу електроенергії у містах.

Досвід ЄС у плануванні розвитку систем розподілу електричної енергії в межах загальної концепції Smart Grid свідчить про необхідність організувати взаємодію всіх заінтересованих сторін. Для обміну інформацією між ними використовують різноманітні інструменти: спеціалізовані інституції, що стають майданчиками для комунікації; спілки національних регуляторів; звіти незалежних наукових установ про досвід реалізації проєктів Smart Grid; інформа-

ційно-технологічні платформи, що дозволяють моделювати систему розподілу за участі її користувачів. Наразі жоден із зазначених інструментів в Україні не використовується.

Опрацювання завдань і функцій суб'єктів, залучених до планування розвитку систем розподілу електричної енергії в Україні

Після прийняття Закону України “Про ринок електричної енергії” [2], планування розвитку систем розподілу електричної енергії здійснюється загалом за тими ж принципами, що і в країнах ЄС – згідно з вимогами Кодексу систем розподілу [4]. Розглянемо детальніше технічні й організаційні особливості сфери розподілу електричної енергії, які зумовлюють встановлені в Україні правила планування розвитку систем розподілу, а також коло суб'єктів, залучених до цього процесу згідно з вимогами нормативних документів.

В енергетичній системі України системи розподілу сформовані електричними мережами напругою до 150 кВ і розділені між незалежними ОСР. Кожен ОСР надає послуги з розподілу електричної енергії на закріпленій території від-

повідно до ліцензії регулятора – НКРЕКП; загальна кількість ліцензіатів – 35, переважна більшість із них працює в межах адміністративних областей України. Як власники електричних мереж ОСР зобов'язані розробляти довгострокові плани розвитку системи розподілу та щорічні інвестиційні програми, які конкретизують обсяг робіт у календарному році.

Кожен ОСР здійснює та координує збір інформації та даних, необхідних для формування плану розвитку системи розподілу електроенергії, взаємодіючи з суб'єктами державного та недержавного впливу (рис. 2).

Суб'єктами державного впливу є органи державної влади, залучені згідно з вимогами законодавства. До суб'єктів недержавного впливу можемо віднести нинішніх і потенційних учасників ринку електричної енергії, а також учасників товарних ринків електротехнічного обладнання й інформаційно-комунікаційних технологій, необхідних для нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення електричних мереж.

Суб'єкти державного впливу:

- Мінекоенерго (Міненерго) України – центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної



Рис. 2. Схема взаємодії суб'єктів, залучених до планування розвитку систем розподілу електричної енергії в Україні

політики в електроенергетичному комплексі [21]. Відповідно до своїх повноважень: розробляє та затверджує правила безпеки постачання електричної енергії, галузеві технічні регламенти; затверджує нормативні значення технологічних витрат електроенергії на її розподіл електричними мережами; погоджує інвестиційні програми ОСР; здійснює в межах своєї компетенції науково-технічну політику в електроенергетичному комплексі [2, 21], зокрема через діяльність науково-технічної ради [22].

▪ НКРЕКП України – постійно діяльний центральний орган виконавчої влади зі спеціальним статусом; колегіальний орган, що здійснює державне регулювання, моніторинг і контроль діяльності ОСР, згідно з положеннями законів України [2, 23]. Відповідно до своїх повноважень: надає ліцензії та контролює додержання ліцензійних умов; затверджує та здійснює моніторинг виконання планів розвитку систем розподілу й інвестиційних програм ОСР; встановлює тарифи на послуги з розподілу електричної енергії та економічні коефіцієнти нормативних технологічних витрат електричної енергії в електричних мережах; здійснює моніторинг виконання ОСР вимог щодо недискримінаційного доступу до електричних мереж, зокрема розглядає скарги користувачів системи розподілу та вирішує спори; контролює якість надання послуг [2, 4, 23].

▪ Державна інспекція енергетичного нагляду України – центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері нагляду (контролю) в галузі електроенергетики [24]. Відповідно до покладених на нього завдань: проводить обстеження, перевірки, огляди обладнання електричних мереж ОСР; контролює дотримання вимог нормативних документів із питань надійності електропостачання, технічного стану електричних мереж, виконання робіт із проектування електричних мереж; готує висновки щодо пріоритетності технічних рішень для розвитку систем розподілу, передбачених проектами інвестиційних програм ОСР; видає обов'язкові для виконання розпорядчі документи щодо усунення виявлених порушень; застосовує штрафні санкції; розглядає звернення споживачів щодо обґрунтованості вимог технічних умов на приєднання електроустановок до електричних мереж [2, 24].

▪ Органи місцевого самоврядування та місцеві органи виконавчої влади – представляють інтереси громади, тому обов'язково беруть участь у розробленні планів розвитку систем розподілу

електричної енергії на підпорядкованій їм території та погоджують розміщення об'єктів електроенергетики [2].

▪ Антимонопольний комітет України – державний орган захисту конкуренції зі спеціальним статусом – залучений до процесу планування розвитку систем розподілу електричної енергії лише опосередковано, через обмеження діяльності всіх ОСР як суб'єктів природних монополій. Зокрема, ОСР не має права відмовити у приєднанні електроустановок замовника до системи розподілу за умови дотримання ним вимог Кодексу [4]. Антимонопольний комітет також погоджує Кодекс систем розподілу та розглядає повідомлення НКРЕКП щодо фактів, що можуть свідчити про порушення законодавства про захист економічної конкуренції на ринку електричної енергії [2].

Суб'єкти недержавного впливу:

▪ оператор системи передачі – ДП “НЕК “Укренерго” – відповідає за узгодженість планів розвитку систем розподілу в галузі розвитку електричних мереж 110 (150) кВ із 10-річним планом розвитку системи передачі; зокрема надає ОСР письмовий висновок із обґрунтованими пропозиціями та зауваженнями щодо необхідності коригування плану у разі його невідповідності [4].

▪ Користувачі системи розподілу – наявні споживачі електричної енергії та власники джерел РГ, розташовані на території здійснення ОСР ліцензійної діяльності. Безпосередньо залучені до розроблення плану перспективного розвитку лише найбільш потужні користувачі: споживачі з навантаженням понад 5 МВт, РГ зі встановленою потужністю понад 1 МВт, а також постачальники від імені своїх споживачів, якщо вони пропонують заходи з управління попитом на понад 5 МВт [4]. Зазначені категорії користувачів зобов'язані щороку надавати ОСР прогнози свого навантаження на наступні 5 років для цілей планування розвитку системи розподілу. Опосередковано впливають на розроблення планів розвитку скарги та звернення користувачів щодо незадовільної якості надання послуг з розподілу, подані через інформаційно-консультаційні центри [25].

▪ Замовники послуг із приєднання до системи розподілу – потенційні користувачі системи розподілу електроенергії – надають ОСР інформацію про замовлену до приєднання потужність та категорію надійності електропостачання, прогнози навантаження та інші проектні дані, необхідні для підготовки плану розвитку системи розподілу.

▪ Виробники технологій й обладнання – учасники товарних ринків електротехнічного обладнання та інформаційно-комунікаційних технологій – опосередковано впливають на планування розвитку систем розподілу, пропонуючи свої товари та послуги всім учасникам ринку електричної енергії (рис. 2). Використання сучасних технологій й обладнання може дати змогу ОСР знизити технологічні витрати електроенергії на її розподіл в електричних мережах і комерційні втрати електроенергії. Кодексом передбачено, що ОСР повинен регулярно здійснювати перегляд технологій й операційних процедур, які використовуються при проектуванні та будівництві/модернізації системи розподілу, здійснювати їх оновлення з метою забезпечення їх відповідності сучасним вимогам [4].

Загальною рамкою для планування розвитку систем розподілу електричної енергії є Енергетична стратегія України на період до 2035 р. “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, другий етап якої (до 2025 р.) передбачає розроблення та початок реалізації плану впровадження Smart Grid.

Аналіз нормативних документів, що регламентують планування розвитку систем розподілу електричної енергії в Україні, також дозволив виявити негативні аспекти обміну інформацією між залученими суб’єктами. По-перше, на ОСР покладено повну відповідальність за розроблення плану розвитку системи розподілу в межах території здійснення ліцензійної діяльності, зокрема збір вихідних даних від наявних і потенційних користувачів системи розподілу, проведення всіх необхідних досліджень і технічних розрахунків. Ані НКРЕКП, що затверджує плани розвитку всіх ОСР, ані Мінекоенерго (Міненерго), що розглядає ці плани та узгоджує відповідні інвестиційні програми, не мають інструментів для контролю достовірності інформації, одержаної від ОСР. По-друге, обмін інформацією для цілей планування розвитку систем розподілу здійснюється через опрацювання даних обов’язкових звітів. Частина інформації оприлюднюється на офіційних сторінках ОСР і НКРЕКП, проте бракує єдиного інформаційного простору, який би пояснював логіку ухвалених управлінських рішень щодо розвитку систем розподілу та дозволяв обґрунтувати їх з погляду аналізу витрат і вигод конкретних проєктів. Особливо це стосується модернізації електричних мереж низької та середньої напруги.

Задля усунення виявлених недоліків, обмін інформацією між залученими суб’єктами (див.

рис. 2) запропоновано організувати в межах спеціалізованої інформаційно-технологічної платформи. Але оскільки в цій роботі не розглядаються технологічні особливості її реалізації, далі використовуватимемо словосполучення “інформаційна платформа”.

Формалізація моделі інформаційної платформи для планування розвитку систем розподілу електричної енергії в Україні

З урахуванням зазначених вище цілей Енергетичної стратегії України інформаційна платформа для планування розвитку систем розподілу електричної енергії загалом має бути орієнтованою на поширення технологій Smart Grid. Це дасть можливість не лише інтегрувати зростаючу кількість об’єктів РГ, а й керувати системами розподілу електричної енергії в режимі реального часу. Тож як назву для такої платформи запропоновано англomовне словосполучення “Ukrainian Smart Energy”, що має доречну абревіатуру USE (від англ. дієсл. *use* – використовувати), тобто звучить як заклик “Використовуй”.

Проте одним із основних завдань платформи має стати накладання інформації від різних суб’єктів, залучених до планування розвитку систем розподілу (див. рис. 2), що дасть можливість ОСР виконувати вимоги Кодексу [4] щодо формування плану розвитку системи розподілу з врахуванням обґрунтованої необхідності реконструкції та технічного переоснащення електричних мереж, їх пропускної здатності, обґрунтованих прогнозів попиту на електричну енергію та потужність.

Для формалізації інформаційного обміну в межах платформи як деякої системи використаємо інструменти уніфікованої мови моделювання – UML, а саме діаграму класів (рис. 3), яка дозволяє візуалізувати статичну структуру моделі та відображає такі її елементи: класи, типи даних, їхній зміст і відношення [26].

Як бачимо на рис. 3, інформаційна платформа USE реалізовується об’єднанням інформації від різних класів користувачів, що залучені до планування розвитку систем розподілу електричної енергії в Україні. Залежно від їхніх завдань і функцій суттєво відрізняються дані, доступні для перегляду та обов’язкові для опублікування. Розглянемо детальніше ці особливості для різних класів користувачів інформаційної платформи USE.

Клас користувачів “ОСР”. Цілком законно, що саме ОСР є основним джерелом

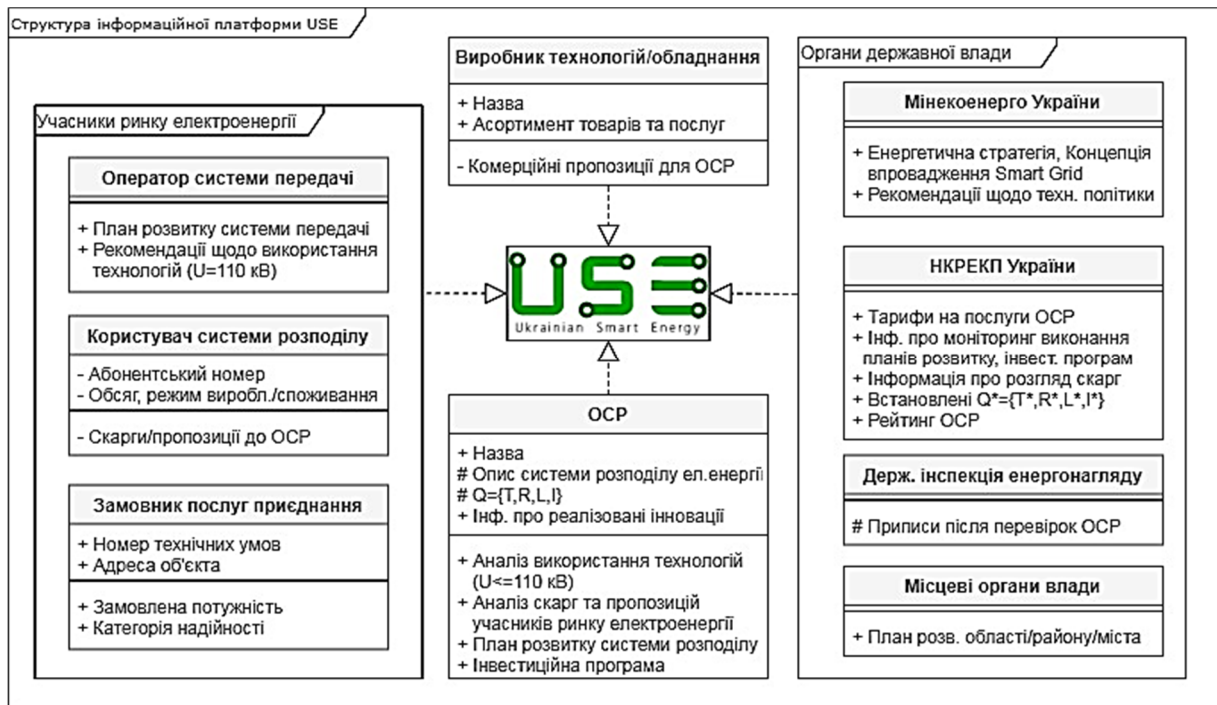


Рис. 3. UML-діаграма класів: структура інформаційної платформи USE (побудовано засобами draw.io)

даних про функціонування електричних мереж напругою до 150 кВ. Кожен ОСР представлений на платформі своєю назвою, характеристикою системи розподілу електричної енергії, планом її розвитку на 5 років і звітами про виконання плану попереднього періоду, річною інвестиційною програмою та переліком інновацій, що були реалізовані в електричних мережах ОСР. Послуги ОСР є ринком природної монополії на закріпленій території, тому пряма конкуренція між ОСР є неможливою і не стане бар'єром для поширення успішного досвіду впровадження сучасних технологій. Натомість використання платформи USE сприятиме відкритості даних ОСР щодо заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування системи розподілу електроенергії. Серед переваг для ОСР – доступ до інформації про запити користувачів системи розподілу для більш об'єктивного прогнозування попиту на власні послуги, можливість обрати вигідні комерційні пропозиції виробників обладнання.

Клас користувачів “Виробник технологій та обладнання”. Кожен виробник після реєстрації на платформі USE зможе надавати ОСР власні комерційні пропозиції. Водночас доступ до інформації про успішно реалізовані інновації в системах розподілу різних ОСР сприятиме розробці

сучасних рішень компаніями-виробниками технологій й обладнання.

Група класів користувачів “Учасники ринку електричної енергії”. Передусім, це наявні користувачі системи розподілу електроенергії (побутові та непобутові споживачі електричної енергії, виробники електроенергії з ВДЕ); кожен із них представлений на платформі USE своїм абонентським номером й отримує можливість залишати скарги та звернення щодо якості надання послуг. Доцільно, щоб відповідні дані інформаційно-консультаційних центрів роботи зі споживачами електричної енергії направлялися до платформи USE автоматично. Потенційні користувачі системи розподілу електроенергії стають користувачами інформаційної платформи USE після отримання технічних умов на приєднання електроустановки до електричних мереж ОСР та мають змогу оцінити обґрунтованість вимог одержаних технічних умов на приєднання. До цієї групи також належить оператор системи передачі, що має опублікувати на платформі план розвитку системи передачі електричної енергії та забезпечити єдині вимоги до всіх ОСР щодо використання новітніх технологій під час планування розвитку електричних мереж напругою 110 кВ.

Група класів користувачів “Органи державної влади”. Кожен орган державної влади, залучений до планування розвитку систем розподілу електричної енергії, має опублікувати на інформаційній платформі USE вимоги та рекомендації для ОСР відповідно до своїх функцій і сфери відповідальності. Найактивнішим користувачем інформаційної платформи має стати регулятор ринку – НКРЕКП, що забезпечить прозорість його рішень стосовно всіх ОСР України. Наприклад, доступ до комерційних пропозицій виробників обладнання спростить ухвалення рішень щодо інвестиційних програм ОСР, а розгляд скарг користувачів системи розподілу набуде більшої публічності. Також слід зазначити, що в дисертаційному дослідженні [27] було запропоновано методологію рейтингування ОСР і встановлення цільових показників для кожного ОСР за такими ключовими характеристиками системи розподілу електричної енергії, як технічний стан, надійність, завантаженість й інноваційність ($Q^* = \{T^*; R^*; L^*; I^*\}$) задля стимулювання регулювання тарифів на послуги ОСР. Результати такого щорічного рейтингування ОСР доцільно зробити доступними на інформаційній платформі USE для всіх учасників оцінювання.

Підсумовуючи опис запропонованої UML-діаграми, важливо зазначити, що на рис. 3 показано лише узагальнену структуру майбутньої інформаційно-технологічної платформи, її деталізація потребує конкретизації цілей функціонування платформи після обговорень серед усіх заінтересованих сторін.

Висновки

У статті представлено результати розроблення моделі інформаційної платформи для планування розвитку систем розподілу електричної енергії та поширення технологій Smart Grid в енергетичній системі України, що дають можливість зробити такі висновки.

1. На сьогоднішньому етапі формування концепції впровадження Smart Grid в енергетичній системі України важливо, за прикладом країн ЄС, залучити до обговорення всі заінтересовані сторони, передусім – ОСР, оператора системи передачі, НКРЕКП, виробників технологій й обладнання, громадські організації, які представляють інтереси користувачів систем розподілу (як власників об'єктів ВДЕ, так і кінцевих споживачів електричної енергії). Логічно, щоб таке обговорення було ініційоване Науково-технічною радою Мінекоенерго (Міненерго)

України. Далі, для просування зазначеної концепції, важливо започаткувати окрему інституцію, наприклад, національну платформу Smart Grid, конкретизувавши цілі її функціонування, орієнтуючись на перелік цілей аналогічних національних платформ в ЄС (див. рис. 1), що додатково сприятиме виконанню Україною умов Договору про заснування Енергетичного Співтовариства з ЄС.

2. В умовах стрімкого нарощування встановленої потужності об'єктів РГ останніх років впровадження технологій Smart Grid має стати невіддільною частиною планування розвитку систем розподілу електричної енергії. На основі аналізу вимог нормативних документів щодо планування розвитку систем розподілу електроенергії в Україні показано, що в цей процес, крім ОСР як власників електричних мереж напругою до 150 кВ, залучено значну кількість суб'єктів державного та недержавного впливу (див. рис. 2). Для удосконалення їхньої взаємодії та посилення інформаційно-аналітичного забезпечення розвитку систем розподілу електричної енергії запропоновано використовувати сучасні інформаційно-комунікаційні рішення, а саме розробити спеціалізовану інформаційно-технологічну платформу “Ukrainian Smart Energy – USE”. Створюючи спільне інформаційне поле для планування розвитку систем розподілу, платформа USE сприятиме поширенню серед ОСР кращого досвіду впровадження новітніх технологій й обладнання під час нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення електричних мереж, а також посилить прозорість управлінських рішень НКРЕКП щодо регулювання діяльності ОСР як природних монополій.

3. У цій роботі опрацьовано лише питання інформаційного наповнення майбутньої інформаційно-технологічної платформи USE без конкретизації технологічних аспектів її реалізації. За допомогою UML-діаграми класів формалізовано узагальнену структуру платформи USE; показано зміст даних, доступних для перегляду й обов'язкових для опублікування різними класами користувачів цієї платформи, залежно від їхніх функцій.

Запропонована модель інформаційної платформи для планування розвитку систем розподілу електричної енергії та поширення технологій Smart Grid в енергетичній системі України окреслює межі платформоцентричної екосистеми та є основою подальших досліджень у напрямку розроблення відповідної інформаційно-технологічної платформи.

References

- [1] State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. Public report for 2019 on the results of the State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine [Online]. Available: http://sae.gov.ua/sites/default/files/SAEE_19.pdf.
- [2] Verkhovna Rada of Ukraine. *Law of Ukraine On electricity market, on 13.04.2017 No. 2019-VIII* [Online]. Available: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
- [3] National Energy and Utilities Regulatory Commission of Ukraine. *Annual report for 2018 of the National Energy and Utilities Regulatory Commission of Ukraine, approved by the Resolution of the NEURC on 29.03.2019 No. 440* [Online]. Available: <http://www.nerc.gov.ua/?id=39676>
- [4] Verkhovna Rada of Ukraine. *Distribution system code, approved by the Resolution of the NEURC on 14.03.2018 No. 310* [Online]. Available: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18>
- [5] Ministry of Energy and Environment Protection of Ukraine. *Report for 2018 on implementing the Energy Strategy of Ukraine "Safety, Energy Efficiency, Competitiveness" until 2035* [Online]. Available: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245351520>
- [6] O.V. Kyryleko *et al.*, "Business information modeling of energy management when implementing the new model of electricity market in Ukraine", *Power Eng.: Econ., Techn., Ecol.*, vol. 3, pp. 7–14, 2016. doi: 10.20535/1813-5420.3.2016.85892
- [7] European Forum for Energy Business Information Exchange. *The harmonized electricity market role model (version: 2019-01)* [Online]. Available: https://www.ebix.org/artikel/role_model
- [8] A.I. Zamulko and Yu.V. Chernetska, "Benchmarking methods for analyzing the efficiency of the electricity distribution system operators", *Power Eng.: Econ., Techn., Ecol.*, vol. 3, pp. 35–44, 2018. doi: 10.20535/1813-5420.3.2018.164264
- [9] Ministry of Fuel and Energy of Ukraine, *Procedure of new technologies and equipment implementation for building new capacity and refurbishing and replacing existing assets of electric networks. Instruction: COY-H MEB 40.1-00013741-77:2012*. Kyiv, Ukraine: GRIFRE, 2013.
- [10] European Commission, Directorate-General for Research. *European SmartGrids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future* [Online]. Available: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf
- [11] R. Sun *et al.* *Information technology platforms: conceptualization and a review of emerging research in IS research* [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/303821844>
- [12] S. You *et al.*, "An overview of trends in distribution network planning: A movement towards smart planning", in *Proc. 2014 IEEE PES T&D Conf. and Exposition*. doi: 10.1109/TDC.2014.6863446
- [13] P.S. Georgilakis and N.D. Hatziargyriou, "A review of power distribution planning in the modern power systems era: Models, methods and future research", *Elect. Power Syst. Research*, vol. 121, pp. 89–100, 2015. doi: 10.1016/j.epr.2014.12.010
- [14] N. Iqtiyanillham *et al.*, "European smart grid prospects, policies, and challenges", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 776–790, 2017. doi: 10.1016/j.rser.2016.09.014
- [15] N. Hatziargyriou. *National and Regional Smart Grids initiatives in Europe. Cooperation opportunities among Europe's active platforms, May 2016* [Online]. Available: <https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2017/04/ETP-SG-National-Platforms-Catalogue-2016-edition.pdf>
- [16] S. P. Denysiuk *et al.*, "European tendencies of innovative development for energy sector and final energy consumption", *Power Eng.: Econ., Techn., Ecol.*, vol. 2, pp. 7–19, 2018. doi: 10.20535/1813-5420.2.2018.147283
- [17] European Technology and Innovation Platform for Smart Networks for Energy Transition. *Vision 2050. Integrating Smart Networks for Energy Transition: Serving Society and Protecting the Environment* [Online]. Available: <https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2018/06/VISION2050-DIGITALupdated.pdf>
- [18] F. Gangale *et al.* *Smart grid projects outlook 2017: facts, figures and trends in Europe* [Online]. Available: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106796/sgp_outlook_2017-online.pdf
- [19] L. Hancher and M. Winters. *The EU Winter package: briefing Paper* [Online]. Available: <https://cadmus.eui.eu/handle/1814/45609>
- [20] G. Pretticco *et al.* *Distribution system operators observatory 2018: overview of the electricity distribution system in Europe* [Online].
- [21] Verkhovna Rada of Ukraine. *Regulations on the Ministry of Energy and Environment Protection of Ukraine, approved by the decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine on 21.01.2015 No. 32* [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/32-2015-%D0%BF#Text>
- [22] *Regulations on the scientific and technical council of the Ministry of Energy and Environment Protection of Ukraine, approved by the resolution of the Ministry of Energy and Environment Protection of Ukraine on 08.04.2020 No. 237* [Online]. Available: <https://mepr.gov.ua/documents/2914.html>
- [23] *Law of Ukraine on the National Energy and Utilities Regulatory Commission of Ukraine on 22.09.2016 No. 1540-VIII* [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1540-19?lang=en#Text>
- [24] *Regulations on the State Inspectorate for Energy Supervision of Ukraine, approved by the decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine on 14.02.2018 No. 77* [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/77-2018-%D0%BF?lang=en#Text>

- [25] *On approval of the Regulations on the information and consultation center for work with electricity consumers, approved by the Resolution of the NEURC on 12.03.2009 p. No. 299* [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0308-09#Text>
- [26] D. Bell. The class diagram [Online]. Available: <https://developer.ibm.com/articles/the-class-diagram/#>
- [27] Yu.V. Chernetska, "Performance management of electric power distribution systems under incentive regulation", Ph.D. dissertation, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine, 2019. Available: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29528>

Ю.В. Чернецкая, А.И. Замулко

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Проблематика. В Украине продолжается работа над концепцией внедрения Smart Grid, которая должна стать неотъемлемой частью планирования развития систем распределения электрической энергии. Одной из нерешенных задач является организация обмена информацией относительно развития систем распределения между всеми заинтересованными сторонами с использованием современных информационно-коммуникационных решений.

Цель исследования. Разработать обобщенную модель информационной платформы для планирования развития систем распределения электроэнергетики и распространения технологий Smart Grid в энергетической системе Украины.

Методика реализации. Проанализирован опыт Европейского Союза (ЕС) в планировании развития систем распределения электроэнергии в части организации взаимодействия заинтересованных сторон. С помощью системного подхода проработаны требования действующих в Украине нормативных документов по планированию развития систем распределения. Графическими средствами унифицированного языка моделирования (UML) формализовано структуру модели предложенной информационной платформы.

Результаты исследования. Определено, что в ЕС организуют обмен информацией для целей планирования развития систем распределения, параллельно используя различные инструменты: специализированные институты для коммуникации заинтересованных сторон; объединения национальных регуляторов; отчеты научных учреждений об опыте реализации проектов Smart Grid; информационно-технологические платформы для моделирования системы распределения электроэнергии совместно с ее пользователями. Исследовано существующую в Украине схему взаимодействия субъектов, непосредственно или косвенно задействованных в планировании развития систем распределения; для устранения выявленных негативных аспектов обмена информацией между ними предложено разработать информационно-технологическую платформу "Ukrainian Smart Energy – USE". Обобщенную структуру платформы USE формализовано с помощью UML-диаграммы классов; показано содержание данных, доступных для просмотра и обязательных для опубликования различными классами пользователей этой платформы, в зависимости от их функций.

Выводы. Предложенная модель информационной платформы USE является основой для дальнейших исследований в направлении разработки соответствующей информационно-технологической платформы.

Ключевые слова: система распределения электрической энергии; планирование развития; UML; информационная платформа; Smart Grid.

Yu.V. Chernetska, A.I. Zamuiko

MODEL OF INFORMATION PLATFORM FOR ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEMS PLANNING

Background. Implementation of the Smart Grid concept in Ukraine is under consideration, and it should become an integral part of the electricity distribution systems planning. One of the outstanding issues is exchanging the information on the distribution systems development between all stakeholders using modern information and communication solutions.

Objective. The purpose of the research is to develop a generalized model of information platform for electricity distribution system planning and expansion of Smart Grid technologies in the energy system of Ukraine.

Methods. The experience of the European Union (EU) in electricity distribution system planning, and specifically, the organization of interaction between stakeholders was analyzed. With the help of a system approach, the requirements of the existing in Ukraine laws and regulations on electricity distribution system planning were investigated. The model structure of the proposed information platform was formalized by the graphical tools of the unified modeling language (UML).

Results. It is determined that the EU organizes the information exchange for the purposes of electricity distribution system planning, using different tools in parallel: specialized institutions for communication of stakeholders; cooperation of energy regulators; reports of scientific institutions about Smart Grid project implementation; information technology platforms for modeling the electricity distribution system in cooperation with its users. The existing in Ukraine scheme of interaction between all actors directly or indirectly involved in electricity distribution system planning was investigated; it was proposed to develop an information technology platform "Ukrainian Smart Energy – USE" to eliminate the identified negative aspects of information exchange between the actors. The generalized structure of the USE platform was formalized using a UML class diagram; it shows the content of data available for viewing and required for publication by different classes of the platform users, depending on their functions.

Conclusions. The proposed model of information platform USE is the basis for further investigations directed to develop an appropriate information technology platform.

Keywords: electricity distribution system; distribution system planning; UML; information platform; Smart Grid.

Рекомендована Радою
Інституту енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
10 липня 2020 року

Прийнята до публікації
10 грудня 2020 року