

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Чернецька Юлія Валентинівна

УДК 621.311:351.824.11

**УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ
СИСТЕМ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
В УМОВАХ СТИМУЛЮЮЧОГО РЕГУЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.14.01 – Енергетичні системи та комплекси

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електропостачання Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Замулко Анатолій Ігорович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», доцент кафедри електропостачання

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Новосельцев Олександр Вікторович,
Інститут технічної теплофізики Національної академії
наук України, провідний науковий співробітник,
член-кореспондент Національної академії наук України

кандидат технічних наук
Білан Тетяна Романівна,
Державне підприємство «Державний науково-технічний
центр з ядерної та радіаційної безпеки»,
старший науковий співробітник лабораторії аналізу
безпеки електротехнічного обладнання

Захист дисертації відбудеться «10» жовтня 2019 р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.20 при Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, корп. 22, ауд. 316.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «__» вересня 2019 р.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради



В.А. Попов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розроблення і впровадження новітніх технологій та обладнання, а також соціально-економічні та політичні зміни, спрямовані на забезпечення сталого розвитку суспільства, поступово трансформують методи і засоби управління розвитком енергетичних систем: від централізованих або вертикально-ієрархічних до децентралізованих або багаторівневих. У зазначених умовах актуальності набуває проблема управління ефективністю функціонування енергетичної системи на рівні систем розподілу електричної енергії, які, з однієї сторони, є кінцевою ланкою в системах енергозабезпечення споживачів, а з іншої – забезпечують приєднання розосереджених джерел її вироблення.

Значні напрацювання таких науковців як Арзамасцев Д. А., Воропай Н. И., Зорін В. В., Короткевич М. А., Лежнюк П. Д., Мелентьев Л. А., Недін І. В., Новосельцев О. В., Файбесович Д. Л. та інші, в тому числі у теорії та методології системних досліджень в енергетиці, потребують переосмислення з огляду на ринкові умови функціонування галузі, зокрема в частині пошуку ефективних рішень для планування розвитку систем розподілу електричної енергії.

Аналітичні огляди Міжнародного енергетичного агентства (IEA), провідного центру енергетичних досліджень у Нідерландах (ECN), Ради європейських енергетичних регуляторів (CEER), Європейської електроенергетичної асоціації (EURELECTRIC) наголошують на необхідності поступового перетворення систем розподілу електроенергії на інтелектуальні електроенергетичні системи згідно концепції Smart Grid, і в межах лібералізованих ринків електричної енергії ця трансформація можлива лише шляхом взаємодії регулятора ринку та операторів систем розподілу (ОСР), що на правах власності забезпечують розвиток електричних мереж. Однак, у кожній країні ця взаємодія вибудовується по-різному та регулюється законодавством національного рівня. Значний внесок у вирішення проблем економічного регулювання та державного управління функціонуванням та розвитком енергетичних систем на рівні систем розподілу електричної енергії зробили закордонні вчені: Agrell P., Biggar D. R., Cossent Arin R., Georgilakis P. S., Gómez T., Jamasb T, Joskow P., Pollitt M. та інші.

Для електроенергетики України концепція Smart Grid є орієнтиром для розвитку електроенергетичних систем та електричних мереж, підтриманим напрацюваннями науковців: Гриб О. Г., Денисюк С. П., Кириленко О.В., Праховник А. В., Стогній Б. С. і інші, та визначеним Енергетичною стратегією України на період до 2035 року «Безпека. Енергоефективність. Конкурентоспроможність», що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. У рамках імплементації положень Директиви 2009/72/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 13.07.2009 р., прийнято Закон України «Про ринок електричної енергії» № 2019-VIII від 13.04.2017 р., який ввів у законодавче поле поняття «оператор системи розподілу», «розвиток систем розподілу». Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) затверджено Кодекс систем розподілу та запроваджено стимулююче регулювання тарифів на послуги ОСР для того, щоб розвиток електричних мереж напругою до 150 кВ став більш керованим і водночас забезпеченим додатковими фінансовими ресурсами.

Дисертаційне дослідження, спрямоване на розроблення механізмів взаємодії регулятора ринку та ОСР, що сприятимуть поширенню технологій Smart Grid,

враховуватимуть досвід європейських країн, а також існуючий технічний стан та рівень автоматизації розподільних електричних мереж ОЕС України, є актуальним для енергетичного сектора країни, бо дає змогу спростити прийняття управлінських рішень щодо підвищення ефективності функціонування систем розподілу електроенергії під час планування розвитку систем розподілу електричної енергії в умовах запровадження стимулюючого регулювання тарифів на послуги ОСР.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконані у роботі дослідження відповідають напряму «Енергетика та енергоефективність» Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» № 2519-VI від 09.09.2010 р. (у редакції від 16.01.2016 р.), Комплексній програмі університету «Енергетика сталого розвитку» і направленості тематики науково-дослідної роботи (НДР) кафедри електропостачання КПП ім. Ігоря Сікорського.

Результати дисертаційної роботи одержано під час виконання ініціативної НДР «Підвищення ефективності інноваційних перетворень енергетичного сектора згідно вимог безвуглецевої економіки в умовах клієнторієнтованого енергоринку» (номер державної реєстрації 0114U006362, 2014-2016 рр.), яка виконувалася науково-педагогічними працівниками кафедри електропостачання КПП ім. Ігоря Сікорського; участі у міжнародному проекті «Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні», що був реалізований Інститутом енергозбереження та енергоменеджменту КПП ім. Ігоря Сікорського спільно з Hochschule der Wirtschaft für Management, м. Мангейм, Німеччина у 2016 р.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення і подальший розвиток системи управління ефективністю функціонування розподільних електричних мереж шляхом розроблення моделей і методів оцінювання результатів діяльності операторів систем розподілу електроенергії (ОСР) для запровадження стимулюючого регулювання.

Для досягнення мети було поставлено і вирішено наступні задачі:

1. Провести комплексний аналіз проблеми управління ефективністю функціонування систем розподілу електричної енергії України та встановити ключові характеристики, які визначають ефективність їх функціонування.
2. Формалізувати задачу оцінювання результатів діяльності ОСР щодо забезпечення розвитку системи розподілу електроенергії.
3. Розробити методологічні аспекти та засоби реалізації управління ефективністю функціонування систем розподілу електроенергії України шляхом оцінювання результатів діяльності ОСР для формалізації прийняття рішень щодо планування розвитку систем розподілу електроенергії.
4. Удосконалити нормативно-правове забезпечення діяльності ОСР, спрямованої на підвищення ефективності функціонування систем розподілу електроенергії, та виконати розрахунки, що підтверджують можливість застосування розроблених моделей та засобів в умовах стимулюючого регулювання тарифів на послуги ОСР.

Об'єкт дослідження – процес управління ефективністю функціонування систем розподілу електричної енергії.

Предмет дослідження – методи та засоби оцінювання результатів діяльності ОСР України, спрямовані на запровадження стимулюючого регулювання.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у роботі завдань використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, а саме:

- для визначення ключових характеристик систем розподілу електричної енергії – метод системних досліджень в енергетиці;
- для розроблення узагальненого показника якості функціонування системи розподілу електричної енергії – теорію нечітких множин і нечіткої логіки, а саме метод нечіткого висновку за алгоритмом Мамдані;
- для групового оцінювання ефективності функціонування систем розподілу електричної енергії та встановлення для кожного ОСР цільових показників за ключовими характеристиками – методи рейтингування ОСР.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше розроблено математичну модель оцінювання ефективності (якості) функціонування системи розподілу електричної енергії, яка базується на використанні математичного апарату нечітких множин та нечіткої логіки, що завдяки формалізації процедури індивідуального оцінювання кожного ОСР дозволяє забезпечити прозорість прийняття управлінських рішень щодо розвитку систем розподілу в умовах стимулюючого регулювання.

2. Удосконалено метод групового оцінювання (рейтингування) ОСР, що враховує зміну ключових характеристик кожної системи розподілу (технічний стан, надійність, завантаженість, інноваційність) і дозволяє встановити довгострокові цільові показники ефективності для стимулюючого регулювання.

3. Науково обґрунтовано систему показників та критеріїв оцінювання розвитку систем розподілу електроенергії у розрізі ключових характеристик технічного стану, надійності, завантаженості та інноваційності, яка, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити ефективність діяльності ОСР щодо організації експлуатації, виконання реконструкції, повної заміни та нового будівництва об'єктів електричних мереж;

4. Отримали подальший розвиток методичні засади інформаційно-аналітичного забезпечення розвитку систем розподілу електроенергії, засновані на принципах бенчмаркінгу, для впровадження новітніх технологій і обладнання під час нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення об'єктів електричних мереж України.

Практичне значення одержаних результатів полягає у їх використанні під час розроблення нормативних документів Міністерства енергетики та вугільної промисловості України: (1) Порядок впровадження новітніх технологій і обладнання в нове будівництво, реконструкцію та технічне переоснащення електричних мереж. Настанова: СОУ-Н МЕНВ 40.1-00013741-77:2012, затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.12.2012 р. № 1079; (2) Норми технологічного проектування енергетичних систем і електричних мереж 35 кВ і вище. Норми: СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-101:2014, затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 04.08.2014 р. № 543; (3) Система умовних одиниць електричних мереж. Норми: СОУ-Н МЕНВ 40.13.0-37471933-43:2011, затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 04.05.2011 р. № 100.

Окремі результати дисертаційної роботи використано у держбюджетній НДР «Внесення змін та доповнень до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», що виконувалася Відкритим акціонерним товариством по пуску, налагодженню, удосконаленню технології та експлуатації електростанцій і мереж «ЛьвівОРГРЕС» (номер державної реєстрації 0110U008602, 2009-2012 рр.).

За результатами аналізу статистичної звітності ОСР щодо технічного стану електричних мереж, організації їх експлуатації, обсягів реконструкції, повної заміни та нового будівництва розроблено практичні рекомендації для Державної інспекції з енергетичного нагляду за режимами споживання електричної і теплової енергії відокремленого підрозділу «Головдерженергонагляд» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго».

Удосконалена методика планування розвитку електричних мереж була використана науково-дослідним, проектно-вишукувальним та конструкторсько-технологічним інститутом «Укрсільенергопроект» під час розроблення схем перспективного розвитку електричних мереж напругою 35-110 кВ Житомирської області та напругою 0,4-10 кВ м. Житомир для ПАТ «ЕК «Житомиробленерго».

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі кафедри електропостачання КПП ім. Ігоря Сікорського під час виконання магістерських дисертаційних робіт та викладання дисципліни «Маркетингові дослідження в енергетиці», зокрема, видано у електронному вигляді навчально-методичні розробки до вивчення тем «Рейтингове оцінювання у маркетингових дослідженнях в енергетиці» у 2012 р. та «Приєднання електроустановок до розподільних електричних мереж» у 2014 р.

Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі, полягає в самостійному виконанні теоретичної й аналітичної частин роботи, а також інтерпретації отриманих результатів. У друкованих працях, які були опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать наступні результати: аналіз ефективності функціонування електричних мереж ОСР України [1]; аналіз статистичної звітності ОСР щодо використання тарифів, диференційованих за періодами часу [2, 18]; нечітка модель оцінювання якості функціонування системи розподілу електроенергії [3, 11, 12]; аналіз звітних даних основних ОСР щодо технічного стану об'єктів електричних мереж [4] та завантаженості трансформаторних підстанцій [17]; класифікація методів рейтингування та розрахунки рейтингу ОСР за показниками, представленими у Програмі розвитку електричних мереж [5, 13]; наукове обґрунтування системи показників та критеріїв оцінювання розвитку систем розподілу електроенергії [6]; огляд методів порівняльного аналізу економічної ефективності витрат ОСР на основі вивчення досвіду європейських країн [7]; дослідження основних проблем функціонування систем розподілу електроенергії в Україні [8]; аналіз вимог європейського законодавства щодо забезпечення надійності електропостачання в умовах стимулюючого регулювання ОСР [9]; дослідження особливостей інновацій у сфері розподілу електричної енергії та механізмів взаємодії держави й ОСР для впровадження інновацій [10]; обґрунтування доцільності розроблення інформаційної платформи для поширення кращого досвіду впровадження новітніх технологій та обладнання під час нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення об'єктів електричних мереж [14].

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародному науковому семінарі ім. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» (м. Ялта, 2010 р.); XIV міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные вопросы развития инновационной деятельности» (м. Євпаторія, 2011 р.); міжнародній науково-практичній конференції

«Математическое моделирование, оптимизация и управление потоко-распределением в инженерных сетях» (м. Ялта, 2011 р.); X міжнародній науково-практичній конференції аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (м. Київ, 2012 р.); XI міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)» (м. Вінниця, 2012 р.), міжнародній науково-практичній та навчально-методичній конференції «Сталий енергетичний розвиток: сучасні тенденції, технології та рішення» (м. Київ, 2014 р.); XVIII міжнародній науково-практичній конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» (м. Київ, 2017 р.); V міжнародній науково-технічній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку «PEMS'18» (м. Київ, 2018 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток технічних наук: проблеми та рішення» (м. Брно, Чеська Республіка, 2018 р.); а також на наукових семінарах кафедри електропостачання КПП ім. Ігоря Сікорського у 2011-2019 роках.

Результати дисертаційного дослідження частково увійшли до двох робіт, відзначених дипломами III ступеня на всеукраїнському конкурсі «Молодь – енергетиці України: відкритий конкурс молодих вчених та енергетиків»: «Планування перспективного розвитку розподільчих електричних мереж у ринкових умовах функціонування енергетичної галузі України» у 2011 р.; «Аналіз та оцінювання ефективності роботи електропередавальних організацій із забезпечення розвитку електричних мереж» у 2012 р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 18 наукових праць, у тому числі: 7 – у наукових фахових виданнях (з них 3 – у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 2 – в інших наукових виданнях, 9 – тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 172 сторінки основного тексту, у тому числі 25 рисунків, 19 таблиць, 6 додатків на 18 сторінках. Список використаних джерел нараховує 156 найменувань і розміщується на 19 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, представлено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також наведено відомості про їх впровадження, апробацію та публікації.

У **першому розділі** проведено комплексний аналіз проблеми управління ефективністю функціонування систем розподілу електричної енергії України.

Показано необхідність підвищення ефективності функціонування систем розподілу електроенергії як складової ОЕС України. Наголошено, що основні системи розподілу електричної енергії розділені між ОСР за адміністративно-територіальним принципом і досить суттєво відрізняються між собою потенціалом скорочення технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) та зростання попиту на послуги розподілу за рахунок приєднання нових споживачів електроенергії та поширення розосередженої генерації. Цей потенціал кожен ОСР повинен реалізовувати шляхом розвитку систем розподілу – нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення об'єктів електричних мереж.

Ретроспективний аналіз організаційно-управлінських та нормативно-правових аспектів планування розвитку систем розподілу електричної енергії України

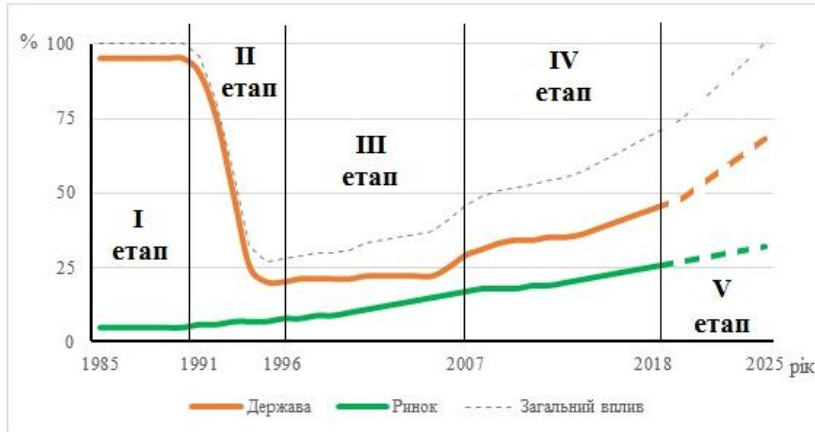


Рис. 1 – Оцінка співвідношення впливу держави та ринкового середовища на розвиток систем розподілу електроенергії в Україні: основні етапи

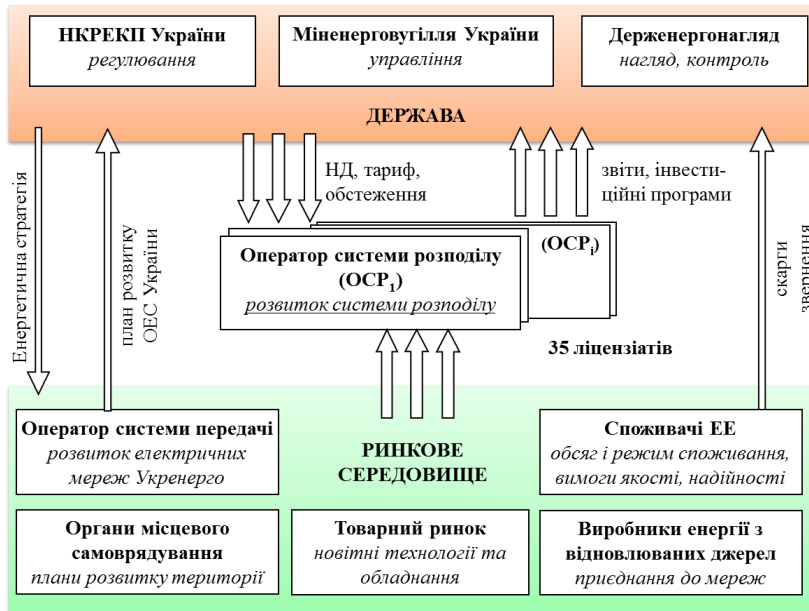


Рис. 2 – Схема взаємодії суб'єктів, що визначають розвиток систем розподілу електроенергії (V етап)

систем розподілу електричної енергії України, що визначають ефективність їх функціонування на сучасному етапі:

$$Q = \{T; R; L; I\}. \quad (1)$$

Характеристика *технічний стан* (T) відображає стан ремонтно-експлуатаційного обслуговування об'єктів електричних мереж та їх обладнання і потребує уваги зі сторони органів державної влади, зокрема, через тривале недофінансування робіт з технічного обслуговування та капітальних ремонтів.

Характеристика *надійність* (R) вказує на здатність системи розподілу виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах експлуатації. Зниження надійності означає для ОСР зростання обсягу недовідпуску електроенергії і відповідно недоотримання грошових надходжень від користувачів системи.

Характеристика *завантаженість* (L) показує відповідність пропускну здатності системи розподілу електроенергії попиту користувачів послуг, тобто чи

дозволив запропонувати оцінку співвідношення впливу на цей процес держави та ринкових механізмів (рис. 1) і обґрунтувати, чому лише на сучасному етапі з'явилися передумови для того, щоб розвиток систем розподілу електричної енергії став більш керованим і мав відповідні фінансові ресурси.

За допомогою розробленої схеми взаємодії суб'єктів, задіяних у плануванні розвитку систем розподілу електричної енергії (рис. 2), показано необхідність врахування суперечності їх інтересів, а також можливість порівняння досягнень незалежних ОСР.

Наголошено, що сьогодні в межах планування розвитку систем розподілу електричної енергії необхідно здійснювати управління ефективністю їх функціонування на основі системного підходу. Комплексний аналіз умов існування такої системи управління допоміг обґрунтувати множину Q ключових характеристик

відповідають перерізи ліній електропередавання (ЛЕП) та встановлена потужність трансформаторів існуючим та перспективним значенням електричних навантажень у нормальному та післяаварійному режимах роботи системи розподілу.

Характеристика *інноваційність (I)* відображає застосування ОСР новітніх технологій та обладнання: нових типів силового устаткування; нових засобів релейного захисту і протиаварійної автоматики, діагностики обладнання, обліку енергоресурсів; систем моніторингу і керування режимами мережі та обладнанням, що в комплексі реалізують концепцію Smart Grid.

Проведено порівняльний аналіз систем регулювання тарифів на послуги ОСР європейських країн зі співмірними з ОЕС України площею території обслуговування та концентрацією ринку послуг розподілу електричної енергії, зокрема встановлення регулятором ринку загальних та індивідуальних показників ефективності фінансових витрат ОСР, а також вимог, пов'язаних з інвестиціями у впровадження технологій Smart Grid. Показано, що в рамках стимулюючого регулювання між ОСР можлива деяка конкуренція за регулювання, засноване на оцінюванні зміни ефективності функціонування систем розподілу електричної енергії.

Другий розділ присвячено розгляду методів оцінювання результатів діяльності ОСР щодо забезпечення розвитку систем розподілу електроенергії.

За результатами вивчення досвіду країн, де раніше відбулася лібералізація ринку електричної енергії, наголошено, що встановлення індивідуальних показників ефективності витрат ОСР для цілей стимулюючого регулювання тарифів здійснюється різноманітними методами порівняльного аналізу ефективності – бенчмаркінгу. Критичний аналіз переваг та особливостей застосування економетричних методів бенчмаркінгу та методів еталону (табл. 1), дозволив виявити ряд обмежень для їх застосування в Україні, а саме: неможливість врахування зміни ключових характеристик систем розподілу електричної енергії та відсутність у НКРЕКП технічної можливості отримати достовірну і повну інформацію про їх функціонування.

Таблиця 1

Аналіз методів порівняльного аналізу ефективності витрат ОСР

Метод	Переваги	Особливості застосування
Економетричні або методи «чорної скриньки»		
DEA	<ul style="list-style-type: none"> - можливість використання множини вхідних та множини вихідних факторів; - функціональна залежність між вхідними та вихідними змінними не є обов'язковою; - можливість використання і вартісних, і натуральних показників; - можливість кількісно оцінити ефективність витрат ОСР та напрями підвищення їх ефективності. 	<p><i>Передумови:</i> функція витрат монотонно зростає для всіх вхідних змінних та є опуклою.</p> <p><i>Обмеження:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - високий ступінь спотворення результатів через помилковість або неточність статистичної інформації та специфіку параметрів оцінювання; - значна похибка оцінок у випадку невеликої кількості об'єктів спостереження та/або великого масиву параметрів; - результат суттєво залежить від вибору вхідних та вихідних змінних.
SFA	<ul style="list-style-type: none"> - можливість порівнювати фінансові витрати ОСР і оцінювати їх економічну ефективність; - можливість відокремити випадкову похибку від неефективності, пов'язаної з діями ОСР. 	<p><i>Передумови:</i> наявність припущень щодо функціональної залежності між вхідними та вихідною змінними та щодо функції розподілу стохастичної похибки.</p> <p><i>Обмеження:</i> застосовується лише для аналізу ефективності фінансових витрат.</p>

StoNED	<ul style="list-style-type: none"> - ті самі, що для методу SFA; - припущення щодо функціональної залежності між вхідними та вихідною змінними не обов'язкове. 	<p><i>Передумови:</i> функція витрат монотонно зростає для всіх вхідних змінних та є опуклою, постійна віддача від масштабу.</p> <p><i>Обмеження:</i> застосовується лише для аналізу ефективності фінансових витрат.</p>
Методи «еталону»		
Еталонна мережа	<ul style="list-style-type: none"> - дозволяє розраховувати витрати ОСР із врахуванням топології кожної системи розподілу та особливостей попиту на послуги; - індивідуальне визначення потенціалу підвищення ефективності; - неефективність може оцінюватися не лише показниками фінансових витрат, а і обсягом недовідпуску електроенергії, ТВЕ тощо. 	<p><i>Передумови:</i> наявність детальної моделі кожної системи розподілу (в т.ч. технічні параметри ЛЕП, трансформаторів), інформації про режими роботи та розподіл навантажень.</p> <p><i>Обмеження:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - жорсткі вимоги щодо обсягу та підготовки даних; - значні регуляторні зусилля та ризики мікроменеджменту, відсутність фактора конкуренції; - аналіз не дає можливості відрізнити миттєву неефективність від системних помилкових дій ОСР.

У якості альтернативи запропоновано модель оцінювання результатів діяльності ОСР, спрямованої на підвищення ефективності функціонування системи розподілу електроенергії (рис. 3), яка розроблена із врахуванням наступних передумов: (1) фінансові ресурси, наявні у ОСР у t -му році для забезпечення розвитку системи розподілу (капітальні витрати $CAPEX^t$), обмежені обсягом коштів інвестиційної програми (ІП): $CAPEX^t \leq IP^t$; (2) на ринку електричної енергії України послуги розподілу надають окремі і досить незалежні OCP_i , $i = \overline{1, m}$; (3) існує суттєва невизначеність вихідних даних для планування розвитку систем розподілу, з якою стикаються ОСР, отримуючи інформаційні сигнали ринкового середовища, та НКРЕКП, затверджуючи ІП кожного ОСР.

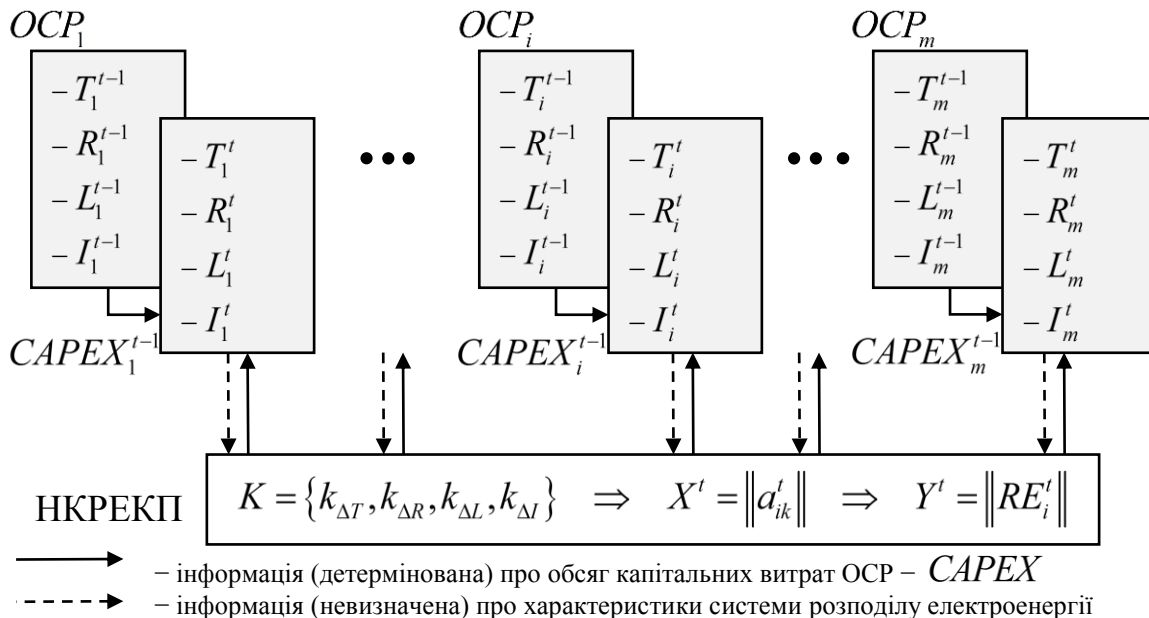


Рис. 3 – Модель оцінювання результатів діяльності ОСР на рівні ОЕС України

Регулятор ринку – НКРЕКП, формалізує однакові для усіх ОСР критерії оцінювання K , що відображають зміни характеристик технічного стану, надійності, завантаженості та інноваційності, і на основі звітних даних ОСР щорічно оцінює досягнуті результати, перетворюючи матрицю вихідних показників X^t на одномірний масив оцінок Y^t . Запропонована модель оцінювання також може бути

застосована на рівні окремого ОСР у розрізі його підрозділів – районів електричних мереж (РЕМ). Її використання передбачає встановлення довгострокових цільових характеристик $Q^* = \{T^*; R^*; L^*; I^*\}$ і дозволяє НКРЕКП щороку оцінювати прогрес кожного ОСР: $T_i^{t-1} \leq T_i^t \leq T_i^*$, $R_i^{t-1} \leq R_i^t \leq R_i^*$, $L_i^{t-1} \leq L_i^t \leq L_i^*$, $I_i^{t-1} \leq I_i^t \leq I_i^*$. Формування Y^t та встановлення Q^* можливе методами групового оцінювання (рейтингування) або шляхом формування індивідуальної оцінки кожного ОСР.

Удосконалено класифікацію методів групового оцінювання: у якості класифікаційної ознаки використано спосіб визначення узагальненого рейтингового показника ОСР – RE_i , що дало змогу виявити три групи методів:

I група – «методи шкали» – для визначення рейтингу розробляється спеціальна шкала (у вербальній, числовій або ж буквено-символьній формі) з розподілом на кілька категорій від мінімальної оцінки до максимальної; RE_i приймає деяке значення з цього діапазону категорій за наперед встановленими правилами;

II група – «методи ранжування» – засновані на впорядкуванні об'єктів оцінювання від найгіршого до найкращого з присвоєнням балів, відповідно RE_i приймає значення, яке визначається або кількістю об'єктів оцінювання, або кількістю критеріїв оцінювання;

III група – «методи нормалізації» – загальний рейтинг визначається шляхом узагальнення нормалізованих значень показників; на величину RE_i впливає коливання кожного показника від максимального до мінімального.

Зроблено висновок, що вибір методу рейтингування залежатиме від обсягу та типу вихідних даних: методи шкали застосовують у випадку незначної кількості найбільш значущих критеріїв оцінки та можливості скласти правила віднесення об'єкта оцінювання до певної категорії; методи ранжування краще використовувати для аналізу категоріальних (якісних) даних або відсутності значень окремих показників; методи нормалізації добре працюють з числовими (кількісними) даними, незалежно від їх обсягу.

Наголошено, що усі методи рейтингування потребують залучення експертів на етапі розроблення моделі оцінювання, зокрема для визначення переліку показників та критеріїв оцінювання, встановлення їх значущості; результат рейтингування критично залежить від достовірності даних. Але не зважаючи на зазначені недоліки, використання групових методів оцінювання ефективності є важливим чинником для підвищення прозорості роботи ОСР на ринку електричної енергії України та для запровадження стимулюючого регулювання тарифів на послуги розподілу.

Для індивідуальної оцінки ОСР запропоновано узагальнений одиничний показник ефективності (якості) функціонування системи розподілу Ef , що використовує вербально-числову шкалу Харрінгтона з п'ятьма інтервалами: дуже висока (ДВ) – $Ef \in [0,80; 1,0]$; висока (В) – $Ef \in [0,64; 0,80]$; середня (С) – $Ef \in [0,37; 0,64]$; низька (Н) – $Ef \in [0,20; 0,37]$; дуже низька (ДН) – $Ef \in [0,00; 0,20]$.

Формування бази знань про взаємозв'язок між вхідними змінними $X = (x_T, x_R, x_L, x_I)$ та вихідною змінною Ef , здійснено з використанням нечіткого логічного висновку за алгоритмом Мамдані:

$$(x_T = a_{Tj} \ominus_j x_R = a_{Rj} \ominus_j x_L = a_{Lj} \ominus_j x_I = a_{Ij} \text{ із вагою } w_j) \Rightarrow Ef = d_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де a_{ij} – нечіткий терм, яким оцінюється вхідна змінна x_i у j -му правилі; d_j – нечіткий терм, яким оцінюється вихідна змінна Ef : ДВ, В, С, Н, ДН; w_j – ваговий коефіцієнт, що показує ступінь впевненості експертів у j -му правилі, $w_j \in (0;1]$; m – кількість правил у базі знань; Θ_j – одна з двох логічних операцій $I / АБО$.

У **третьому розділі** наведено результати розроблення методологічних аспектів і засобів реалізації управління ефективністю функціонування систем розподілу.

За результатами аналізу звітних даних ОСР із обмеженим доступом за 2008-2010 рр. про технічний стан об'єктів електричних мереж, їх ремонтно-експлуатаційне обслуговування, обсяги виконання ПП, а також після обробки інформації, представленої в усіх трьох Програмах розвитку електричних мереж (2007, 2012 та 2016 рр.), виявлено проблему надмірної узагальненості та суб'єктивності даних ОСР, з якими працює державна система збору, обробки та узагальнення техніко-економічної інформації. З огляду на потенційні можливості за допомогою технологій Smart Grid (зокрема, шляхом автоматизації електричних мереж, організації інтелектуального обліку) отримувати достовірну інформацію про функціонування систем розподілу електричної енергії, було розглянуто існуюче інформаційне забезпечення планування їх розвитку у розрізі ключових характеристик (Рис. 4).

	Технічний стан	Надійність	Завантаженість	Інноваційність
Рівень ОЕС України	56-енерго: технічний стан електромереж, 58-енерго: капітальний ремонт об'єктів електромереж, 59-енерго: технічне обслуговування об'єктів електромереж	11-НКРЕ: показники надійності електропостачання, 57-енерго: технологічні порушення, 63-енерго: забезпечення нормативного рівня надійності	35-енерго: споживання електроенергії, 36-енерго: погодинне навантаження у день режимних вимірів, 12-НКРЕ: комерційна якість послуг (звернення про доступ до мереж)	60-енерго: виконання Програми розвитку електромереж, 61-енерго: виконання інвестиційної програми, 67-енерго: організація систем обліку електроенергії
Обов'язкова звітність усіх ліцензіатів				
Рівень ОСР	<ul style="list-style-type: none"> • Тривалість використання обладнання, • Пооб'єктна оцінка технічного стану 	<ul style="list-style-type: none"> • Пооб'єктна оцінка наслідків відмов, • Досвід експлуатації обладнання мереж 	<ul style="list-style-type: none"> • Дані диспетчера щодо роботи схеми електромереж, • Однолінійна схема 	<ul style="list-style-type: none"> • Типи використаних інновацій, • Витрати-вигоди реалізованих проектів
Внутрішня інформація кожного ліцензіата				

Рис. 4 – Результати аналізу інформаційного забезпечення планування розвитку систем розподілу електроенергії

Зроблено висновок, що органи державної влади акумулюють значні масиви звітних даних ОСР, які краще опрацьовані за характеристиками T і R , менш формалізовані на даний час за характеристиками L та I . Звітність ОСР є обов'язковою, і вона формується на основі внутрішньої інформації ліцензіатів – більш деталізованої та змістовної (рис. 4), тому було запропоновано виділити два рівні оцінювання ефективності функціонування систем розподілу електричної енергії: *рівень окремого ОСР*, який в межах виконання ПП забезпечує розвиток власної системи розподілу, змінюючи характеристики $Q = \{T; R; L; I\}$; *рівень ОЕС України*, на якому органами державної влади (рис. 2) проводиться аналіз роботи незалежних $ОСР_i$, $i = \overline{1, m}$, і зокрема, регулятор ринку визначає величину тарифу на розподіл.

На різних рівнях оцінювання рекомендовано використовувати різний математичний інструментарій: індивідуальний показник ефективності функціонування кожної системи розподілу E_f – для рівня окремого ОСР; методи групового оцінювання та формування рейтингу RE_i усіх OCP_i , $i = \overline{1, m}$ – для рівня ОЕС України.

Наголошено, що порівняння результатів ОСР часом вимагає врахування особливостей систем розподілу. За результатами кластерного аналізу запропоновано розрізняти групи ОСР з близькими характеристиками площі території обслуговування та обсягу електроспоживання: *міські ОСР* (міста Київ і Севастополь); *малі ОСР* (Чернівецька, Івано-Франківська, Закарпатська і Тернопільська області); *середні ОСР* (Вінницька, Кіровоградська, Сумська, Миколаївська, Львівська, Волинська, Рівненська, Хмельницька, Черкаська, Житомирська, Херсонська та Чернігівська області); *великі ОСР* (Донецька, Запорізька, Луганська, Київська, Полтавська, Одеська, Харківська області та АР Крим); *найбільш енергоємна ОСР* (Дніпропетровська область).

На основі аналізу існуючого в Україні інформаційного забезпечення планування розвитку систем розподілу електроенергії, запропоновано відкритий перелік показників та критеріїв оцінювання зміни їх характеристик $K = \{k_{\Delta T}, k_{\Delta R}, k_{\Delta L}, k_{\Delta I}\}$ (табл. 2).

Таблиця 2

Показники та критерії оцінювання зміни характеристик систем розподілу

Q	Показники	Застосування у якості критерію
Технічний стан (T)	$k_{T1} = \{k_{T1}^{0,4}, k_{T1}^{10}, k_{T1}^{35}, k_{T1}^{110}, k_{T1}^{def}\}$	$k_{\Delta T1} : k_{T1}^t - k_{T1}^{t-1} < 0$
	$k_{T2} = \{k_{T2}^{10}, k_{T2}^{35}, k_{T2}^{110}, k_{T2}^{def}\}$	$k_{\Delta T2} : k_{T2}^t - k_{T2}^{t-1} < 0$
	$k_{T3} = \{k_{T3}^{10}, k_{T3}^{35}, k_{T3}^{110}, k_{T3}^{def}\}$	$k_{\Delta T3} : k_{T3}^t - k_{T3}^{t-1} < 0$
Надійність (R)	$k_{R1} = \{k_{R1}^{0,4c}, k_{R1}^{0,4m}, k_{R1}^{10c}, k_{R1}^{10m}, k_{R1}^{35}, k_{R1}^{110}\}$	$k_{\Delta R1} : k_{R1}^t - k_{R1}^{t-1} < 0$
	$k_{R2} = \{k_{R2}^{0,4c}, k_{R2}^{0,4m}, k_{R2}^{10c}, k_{R2}^{10m}, k_{R2}^{35}, k_{R2}^{110}\}$	$k_{\Delta R2} : k_{R2}^t - k_{R2}^{t-1} < 0$
	$k_{R3} = \{k_{R3}^{0,4c}, k_{R3}^{0,4m}, k_{R3}^{10c}, k_{R3}^{10m}, k_{R3}^{35}, k_{R3}^{110}\}$	$k_{\Delta R3} : k_{R3}^t - k_{R3}^{t-1} < 0$
	$k_{R4} = \{k_{R4}^{0,4c}, k_{R4}^{0,4m}, k_{R4}^{10c}, k_{R4}^{10m}, k_{R4}^{35}, k_{R4}^{110}, k_{R4}^{\%}\}$	$k_{\Delta R4} : k_{R4}^t - k_{R4}^{t-1} < 0$
	$k_{R5} = \{k_{R5}^{0,4}, k_{R5}^{10}, k_{R5}^{35}, k_{R5}^{110}\}$	$k_{\Delta R5} : k_{R5}^t - k_{R5}^{t-1} < 0$
Завантаженість (L)	$k_{L1} = \{k_{L1}^{OCP}, k_{L1}^{PEM1}, k_{L1}^{PEM2}, ..., k_{L1}^{PEMn}\}$	$k_{\Delta L1} : k_{L1}^t - k_{L1}^{t-1} < 0$
	$k_{L2} = \{k_{L2}^{OCP}, k_{L2}^{PEM1}, k_{L2}^{PEM2}, ..., k_{L2}^{PEMn}\}$	$k_{\Delta L2} : k_{L2}^t - k_{L2}^{t-1} < 0$
Інноваційність (I)	$k_{I1} = \{k_{I1}^{OCP}, k_{I1}^{PEM1}, k_{I1}^{PEM2}, ..., k_{I1}^{PEMn}\}$	$k_{\Delta I1} : k_{I1}^t \geq k_{I1}^{\min}$
	$k_{I2} = \{k_{I2}^{0,4}, k_{I2}^{10}, k_{I2}^{35}, k_{I2}^{110}, k_{I2}^{OCP}, k_{I2}^{PEM1}, ..., k_{I2}^{PEMn}\}$	$k_{\Delta I2} : k_{I2}^t - k_{I2}^{t-1} > 0$
	$k_{I3} = \{k_{I3}^{0,4}, k_{I3}^{10}, k_{I3}^{35}, k_{I3}^{110}, k_{I3}^{OCP}, k_{I3}^{PEM1}, ..., k_{I3}^{PEMn}\}$	$k_{\Delta I3} : k_{I3}^t = 1$

Для оцінювання технічного стану використано показники: k_{T1} – частка ЛЕП, що підлягають реконструкції та заміні, по відношенню до їх загальної протяжності на кожному з основних чотирьох рівнів напруги, включаючи коефіцієнт дефектності; аналогічна оцінка технічного стану ТП за кількістю (k_{T2}) та за встановленою потужністю (k_{T3}). Зменшення значення параметрів k_{Ti} , порівняно з попереднім роком,

означає покращення технічного стану об'єктів електричних мереж відповідного рівня напруги. При цьому, ідеальне значення показників k_{Ti}^* рівне нулю, що означає відсутність на балансі ОСР об'єктів, що потребують реконструкції або заміни.

Оцінювання надійності системи розподілу здійснюється за показниками: індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні *SAIDI* (k_{R1}), індекси середньої частоти довгих та коротких перерв *SAIFI* (k_{R2}) та *MAIFI* (k_{R3}), розрахунковий обсяг недовідпущеної електроенергії *ENS* (k_{R4}), в тому числі відносну частку аварійного недовідпуску електроенергії. До переліку показників надійності також включено k_{R5} - відношення кількості аварійних відключень в мережах ОСР до загальної протяжності ЛЕП (відкл./100 км). Ідеальне значення для усіх показників надійності – $k_{Ri}^* = 0$, що означає відсутність перерв у роботі системи розподілу.

Показники для оцінювання *завантаженості* систем розподілу у звітних даних не використовуються, не зважаючи на надлишкову пропускну спроможність електричних мереж у окремих регіонах і відсутність стимулів для ОСР мінімізувати встановлену потужність нових ТП. Запропоновано два індикатори, що є в практиці європейських країн: коефіцієнт використання встановленої потужності трансформаторів *TU* та коефіцієнт завантаження системи розподілу *LF*.

$$TU = \frac{W_{відн}^H \cdot 100\%}{S_{\Sigma} \cdot T}, \quad (3)$$

де $W_{відн}^H$ – обсяг електроенергії, відпущеної на низькому ступені напруги, тис. кВт·год.; S_{Σ} – сума встановленої потужності усіх трансформаторів системи розподілу, МВА; $T = 8760$ год. – кількість годин роботи системи розподілу в рік.

Індикатор *TU* відображає ефективність планування системи розподілу: $TU < TU_{\min}$ означає, що ОСР використовує трансформатори, більшої за необхідну встановленої потужності, тобто завищує капітальні витрати, але якщо $TU > TU_{\max}$ – це може спричинити погіршення надійності.

$$LF = \frac{W_{відн}}{P_{\max} \cdot T}, \quad (4)$$

де $W_{відн}$ – обсяг відпущеної в мережу електроенергії, тис. кВт·год.; P_{\max} – пікове навантаження системи розподілу електроенергії протягом року, МВт.

Чим вище значення *LF*, тим ефективніше використовуються наявні потужності, проте якщо $LF \rightarrow 100\%$, це свідчить про обмеження нових приєднань.

Оскільки обидва індикатори *TU* та *LF* потребують встановлення оптимальних значень, необхідно оцінювати відхилення фактичних значень від оптимальних показниками k_{L1} та k_{L2} відповідно.

Показники для оцінювання *інноваційності*: k_{I1} – частка оновлених у поточному році засобів обліку відносно їх загальної кількості, при цьому необхідно встановити деяке мінімальне значення k_{I1}^{\min} ; частка точок продажу електроенергії, обладнаних автоматизованими системами обліку (k_{I2}); k_{I3} – частка реалізованих у визначені терміни приєднань до системи розподілу джерел розосередженої генерації, по відношенню до кількості звернень користувачів системи.

Для управління ефективністю функціонування систем розподілу електроенергії на рівні ОЕС України регулятору ринку запропоновано впровадити щорічне рейтингування ОСР за показниками зміни характеристик Q . Наголошено на важливості застосування коефіцієнтів значущості критеріїв оцінювання ρ_k ($\sum_{k=1}^n \rho_k = 1, \rho_k > 0$), які допоможуть регулятору не лише встановити пріоритетність задач і тим самим транслювати державну політику в галузі, а і враховувати фактор достовірності даних шляхом присвоєння вищого значення ρ_k для критеріїв, що розраховані за даними, отриманими в автоматизованому режимі.

На рівні окремого ОСР регулятору ринку запропоновано рекомендувати вибір тих заходів до ІП, що забезпечать максимальну зміну ефективності функціонування системи розподілу електроенергії $\Delta Ef(ІП)$:

$$\Delta Ef(ІП) = \Delta Ef[\Delta Q(ІП), CAPEX(ІП), \Delta t(ІП)], \quad (5)$$

де $\Delta Q(ІП)$ – зміна характеристик систем розподілу в результаті реалізації ІП; $CAPEX(ІП)$ – сума капітальних витрат ІП; Δt – час, необхідний для реалізації ІП.

У четвертому розділі представлено напрацювання, що стали основою для удосконалення нормативно-правових засад планування розвитку систем розподілу електроенергії в Україні та виконано розрахунки, що підтверджують можливість практичного застосування розроблених моделей та засобів реалізації управління ефективністю функціонування систем розподілу електроенергії.

Враховуючи суперечності інтересів усіх суб'єктів, що задіяні у плануванні перспективного розвитку систем розподілу (рис. 2), наголошено на необхідності розроблення для кожного ОСР схеми перспективного розвитку на період 5 років (із перспективою 10 років) за алгоритмом, представленим на рис. 5. Зазначений документ обов'язково містить укрупнений план нового будівництва, реконструкції і технічного переоснащення об'єктів електромереж, оцінку необхідних обсягів інвестицій. Розроблений алгоритм впроваджено як частину нормативного документа Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Норми технологічного проектування енергетичних систем і електричних мереж 35 кВ і вище».

Апробацію групового оцінювання ефективності функціонування систем розподілу електроенергії здійснено на основі наявних у відкритому доступі даних ОСР за 2014 р., представлених у чинній Програмі розвитку електричних мереж та у річному звіті НКРЕКП, що зумовило перелік показників (табл. 3).



Рис. 5 – Алгоритм розроблення схеми перспективного розвитку системи розподілу (мережі 35-110 кВ)

Обробка зведеної матриці показників для групового оцінювання ОСР

Показник оцінювання			Одиниці виміру	Спрямованість (K^{\max} / K^{\min})	Значення показника оцінювання a_k	
					$\overline{a_k}$	$a_{k \min} \div a_{k \max}$
k_T	k_{T1}	k_{T1}^{110}	%	min	6,5	0÷52,1
		k_{T1}^{35}	%	min	7,6	0÷74,4
		k_{T1}^{10}	%	min	6,9	1,3÷21,5
		$k_{T1}^{0,4}$	%	min	1,4	0,5÷30,3
	k_{T2}	k_{T2}^{10}	%	min	17,2	1,5÷41,8
k_R	k_{R1}	$k_{R1}^{(0,4-20)c}$	ХВ.	min	346,9	98,9÷1107,3
		$k_{R1}^{(0,4-20)m}$	ХВ.	min	716,7	71,1÷1602,8
	k_{R4}	$k_{R4}^{\%}$	%	min	5,5	0÷23,5
	k_{R5}	k_{R5}^{35-110}	од./100 км	min	20,4	0,2÷87,2
k_L	k_{L1}	k_{L1}^{OCP}	%	min	6,2	0,6÷8,8
	k_{L2}	k_{L2}^{OCP}	відн.од.	min	0,1	0÷0,5
k_I	k_{I1}	k_{I1}^{OCP}	%	max	5,34	0,1÷13,3
	k_{I2}	k_{I2}^{OCP}	%	max	75,9	19,6÷100

Послідовність розрахунку матриці узагальнених рейтингових оцінок ОСР $Y = \|RE_i\|$ методом нормалізації представлено на рис. 6. Вибір методу обумовлений кількісним характером вихідних даних; ключові характеристики систем розподілу прийнято рівнозначущими: $\rho_T = \rho_R = \rho_L = \rho_I = 0,25$.

Результати групового оцінювання ефективності функціонування систем розподілу електронергії у звітному році (рис. 7) дозволяють встановити серед основних ОСР України «лідерів» і «аутсайдерів» за формалізованою процедурою. Далі у регулятора є можливість проводити аналіз результатів роботи ліцензіатів у межах кожної з ключових характеристик, визначати цільові показники $Q^* = \{T^*; R^*; L^*; I^*\}$ і надавати відповідні рекомендації ОСР під час розгляду та затвердження ПП.

1	Формування зведеної матриці показників: $X = \ a_{ik}\ , i = \overline{1, m}, k = \overline{1, n}$
2	Нормалізація значень показників: $A_{ik} = \begin{cases} \frac{a_{ik} - a_{k \min}}{a_{k \max} - a_{k \min}}, & \text{якщо } k \in K^{\max} \\ \frac{a_{k \max} - a_{ik}}{a_{k \max} - a_{k \min}}, & \text{якщо } k \in K^{\min} \end{cases}, \quad k = \overline{1, n}$
3	Узагальнення нормалізованих показників у межах ключових характеристик: $RE_{iQ} = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^p A_{ik}^2 \right) / p}, \quad Q = \{T, R, L, I\}$
4	Рейтингова оцінка i -го ОСР: $RE_i = \sum_Q \rho_Q \cdot RE_{iQ}, \quad i = \overline{1, n}$

Рис. 6 – Послідовність розрахунку узагальненої рейтингової оцінки ОСР методом нормалізації

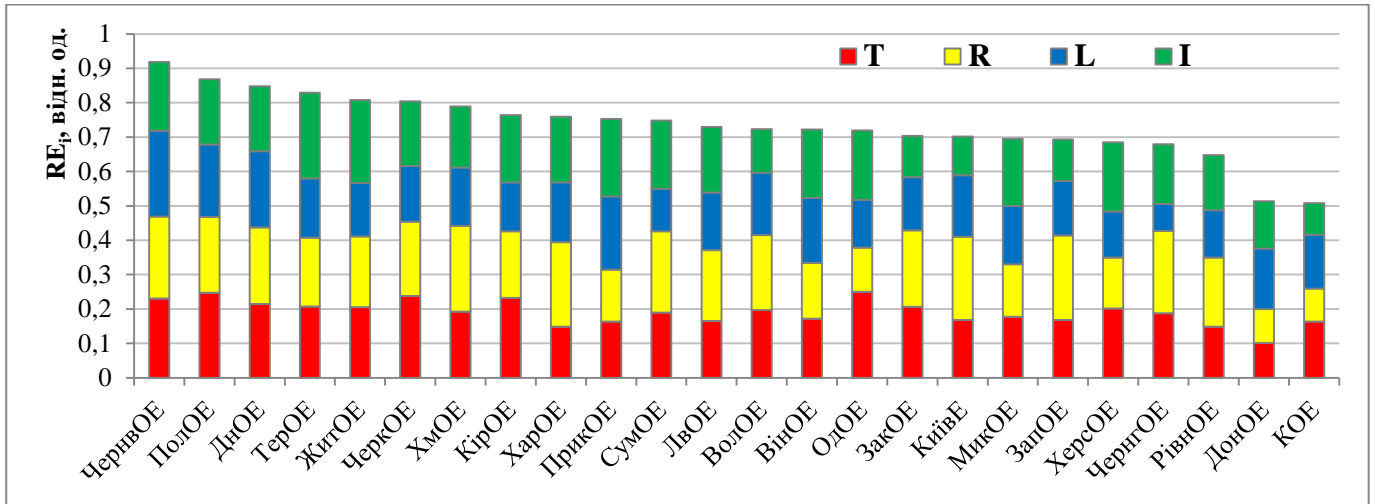


Рис. 7 – Результати групового оцінювання ефективності систем розподілу електроенергії

Застосування запропонованого одиничного показника ефективності (якості) функціонування системи розподілу E_f було апробовано в спрощеному вигляді під час розроблення схеми перспективного розвитку мереж 35-110 кВ Житомирської області. Зокрема, аналізувалися дані про технічний стан та завантаженість трансформаторних підстанцій ВАТ «ЕК «Житомиробленерго» з вищою напругою 110 кВ з метою виділення першої та другої черги реконструкції.

Для опису вербальних категорій вхідних та вихідних змінних (рис. 8) було прийнято трикутні та трапецієвидні функції належності; моделювання здійснювалося з використанням спеціалізованих програмних засобів – пакету Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища MATLAB.

До складу бази знань увійшло 16 правил, сформованих за схемою: «**If** (T is добрий) **and** (L is недовантажений) **then** (E_f is середня) (1)», що дозволило формалізувати оцінювання і зменшити вплив суб'єктивних факторів на прийняття управлінських рішень.

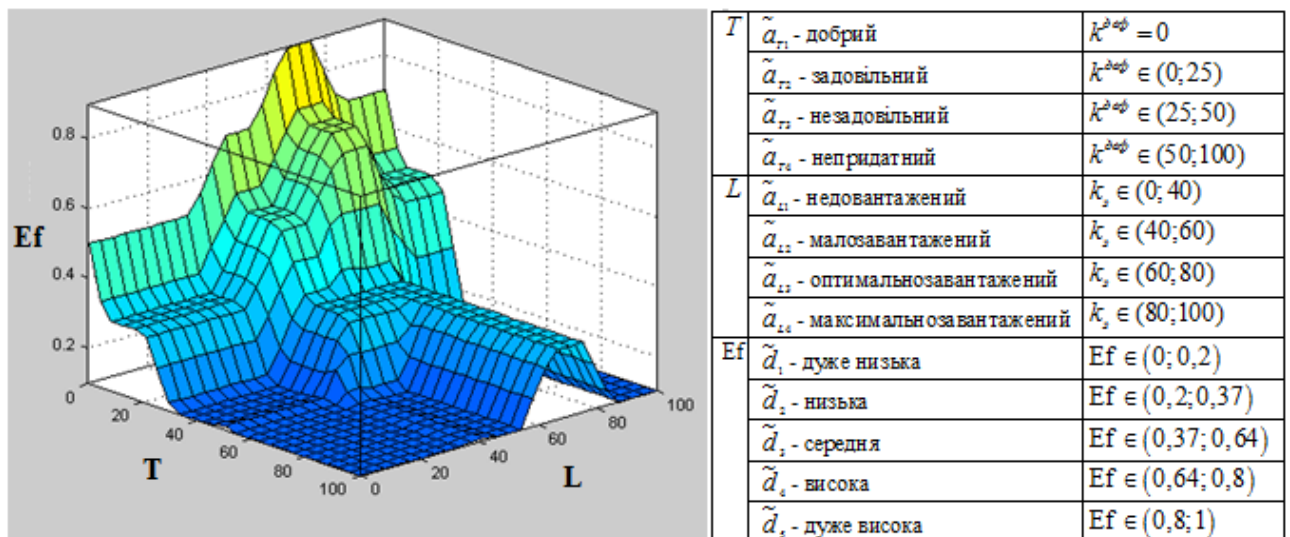


Рис. 8 – Поверхня нечіткого висновку про якість функціонування об'єкта системи розподілу та критичні значення вхідних (T , L) та вихідної (E_f) змінних

За результатами оцінювання було сформовано перелік трансформаторних підстанцій з низькою якістю функціонування ($E_f = d_2$), що увійшли до I черги реконструкції: Андрушівка, Турчинка, Н. Бердичівська, Коростень, Садки, Головино, Смолянка, Коростишів. Трансформаторні підстанції з середньою якістю

функціонування ($E_f = d_3$) склали перелік II черги реконструкції: Олевськ, Крошня, Чоповичі, Бердичівська, ЗМК, Рихальськ, Народичі, Пенізевиці, Біла Криниця, Льонокомбінат, Білокоровичі, З-Р, Малин, Радомишль, Ігнатпіль, Черняхів.

З метою поширення кращого досвіду впровадження новітніх технологій серед ОСР України за принципами бенчмаркінгу запропоновано удосконалити взаємодію учасників ринку електричної енергії (рис. 2) шляхом розроблення спеціалізованої інформаційної платформи (Ukrainian Smart Energy – USE). Обмін інформацією між ОСР, користувачами систем розподілу, органами державної влади та виробниками обладнання на платформі USE описано за допомогою UML діаграм. Основні засади організації вивчення передового досвіду стали частиною нормативного документу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Порядок впровадження новітніх технологій і обладнання в нове будівництво, реконструкцію та технічне переоснащення електричних мереж».

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить нові науково обґрунтовані результати удосконалення і подальшого розвитку моделей і методів оцінювання діяльності ОСР, спрямованої на нове будівництво, реконструкцію та технічне переоснащення електричних мереж, які в сукупності розв'язують актуальне наукове завдання підвищення ефективності функціонування систем розподілу електричної енергії в умовах запровадження стимулюючого регулювання тарифів на послуги ОСР. Висновки, що узагальнюють отримані результати, полягають у наступному.

1. Проведений комплексний аналіз проблеми управління ефективністю функціонування систем розподілу електричної енергії України, що реалізується під час планування їх розвитку, по-перше, показав необхідність врахування суперечності інтересів задіяних учасників ринку електричної енергії та доцільність порівняння досягнень незалежних ОСР для стимулюючого регулювання тарифів на їх послуги; по-друге, допоміг обґрунтувати чотири ключові характеристики систем розподілу, які визначають ефективність їх функціонування: технічний стан, надійність, завантаженість, інноваційність.

2. Формалізацію задачі оцінювання результатів діяльності ОСР щодо нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення об'єктів електричних мереж здійснено на базі визначення ефективності функціонування систем розподілу електроенергії у розрізі зміни характеристик технічного стану, надійності, завантаженості та інноваційності на двох рівнях: методами групового оцінювання (рейтингування) ОСР на рівні ОЕС України та шляхом формування узагальнених індивідуальних оцінок на рівні кожного ОСР.

3. Запропоновано узагальнений одиничний показник для оцінювання якості функціонування системи розподілу електричної енергії, що відрізняється використанням механізму нечіткого логічного висновку за алгоритмом Мамдані, і дає можливість забезпечити встановлення довгострокових цільових показників технічного стану, надійності, завантаженості та інноваційності індивідуально для кожного ОСР.

4. Удосконалено метод групового оцінювання (рейтингування) ОСР за результатами діяльності, спрямованої на підвищення ефективності функціонування систем розподілу, що враховує науково обґрунтовану систему показників та критеріїв оцінювання зміни технічного стану, надійності, завантаженості та

інноваційності, і є додатковим інструментом для регулятора ринку у прийнятті рішень щодо стимулюючого регулювання тарифів на послуги ОСР. Економічний ефект оцінено в межах до 5,6 млн. грн. за рік, що відповідає 1,5 % неефективних витрат коштів, передбачених інвестиційними програмами ОСР на розвиток електричних мереж (3,8 млрд. грн. (без ПДВ) у 2018 р.).

5. Отримані результати роботи знайшли практичне застосування під час розроблення нормативних документів Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, що визначають порядок впровадження новітніх технологій і обладнання під час нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення електричних мереж (СОУ-Н МЕН 40.1-00013741-77:2012) та норми технологічного проектування енергетичних систем і електричних мереж (СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-101:2014, СОУ-Н МЕН 40.13.0-37471933-43:2011), а також на рівні окремого ОСР – ПАТ «ЕК «Житомиробленерго».

6. Подальше використання результатів дисертаційної роботи пропонується здійснювати шляхом розробки спеціалізованої інформаційної платформи для взаємодії ОСР, користувачів систем розподілу, органів державної влади та виробників обладнання з метою підвищення ефективності функціонування систем розподілу електроенергії під час планування їх розвитку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Замулко А.І., Солоха (Чернецька) Ю.В., Бовкун Я.В. Питання підвищення ефективності функціонування електричних мереж електропередавальних організацій України // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». 2010. №42. С. 176-181. *(фахове видання)*

2. Плачинда В.Д., Яровицина Т.В., Замулко А.І., Чернецька Ю.В. Актуальні питання використання тарифів на електричну енергію, диференційованих за періодами часу // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2010. №9. С. 16-23. *(фахове видання)*

3. Чернецька Ю.В., Замулко А.І. Застосування методів моделювання для формування планів перспективного розвитку розподільчих мереж // Комунальне господарство міст. Серія «Технічні науки та архітектура»: науково-технічний збірник. 2011. Вип. 89. С. 406-414. *(фахове видання)*

4. Чернецька Ю.В., Замулко А.І. Система моніторингу технічного стану розподільчих електричних мереж // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2011. №9. С. 28-37. *(фахове видання)*

5. Чернецька Ю.В., Замулко А.І. Рейтингове оцінювання в задачах управління розвитком розподільчих електричних мереж // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. №1. С. 94-100. *(фахове видання)*

6. Замулко А.І., Чернецька Ю.В. Критерії оцінювання розвитку систем розподілу електроенергії в умовах стимулюючого регулювання // Энергетика: економіка, технології, екологія. 2017. №4. С. 102-112. *(фахове видання)*

7. Замулко А.І., Чернецька Ю.В. Методи порівняльного аналізу ефективності операторів систем розподілу електричної енергії // Энергетика: економіка, технології, екологія. 2018. №3. С. 35-44. *(фахове видання)*

8. Замулко А.И., Чернецкая Ю.В. Особенности планирования перспективного развития распределительных электрических сетей Украины // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Сб. науч. тр. Вып. 61.

Проблемы исследования и обеспечения надежности либерализованных систем энергетики. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2011. С. 550-556.

9. Замулко А.І., Сайчук Ю.С., Чернецька Ю.В. Аналіз якості надання послуг з електропостачання // Первый независимый научный журнал. 2016. №9-10. С. 123-129.

10. Чернецька Ю.В., Замулко А.І. Роль інновацій у формуванні стратегії розвитку розподільчих електричних мереж // Актуальные вопросы развития инновационной деятельности: мат. XIV межд. науч.-практ. конф., г. Евпатория, 23-27 мая 2011 г. С. 144-149.

11. Замулко А.І., Чернецкая Ю.В. Применение методов моделирования для формирования планов перспективного развития распределительных сетей // Математическое моделирование, оптимизация и управление потокораспределением в инженерных сетях: материалы международной науч.-практ. конф., г. Ялта, 1-6 октября 2011 г.: тезисы докладов. X. : ХНАГХ, НТМТ, 2011. С.50.

12. Замулко А.І., Веремійчук Ю.А., Чернецька Ю.В. Сегментування роздрібного ринку електричної енергії з використанням алгоритмів нечіткої логіки // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : матеріали X Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 17-20 квітня 2012 р. : тези доповідей. Том 2. К.: НТУУ «КПІ», 2012. С. 148.

13. Чернецька Ю.В., Замулко А.І. Рейтингове оцінювання в задачах управління розвитком розподільних електричних мереж // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012). XI Міжн. конф., м. Вінниця, 9-11 жовтня 2012 р.: тези доповідей. Вінниця: ВНТУ, 2012. С.177-178.

14. Chernetska Y., Zamulko A. Development of electricity distribution networks: marketing concept // Матеріали міжн. наук.-практ. та навч-метод. конф. «Сталий енергетичний розвиток: сучасні тенденції, технології та рішення» м. Київ, 24 вересня 2014 р. К.: НТУУ «КПІ». С. 14.

15. Чернецька Ю.В. Системи розподілу електроенергії в Україні: ключові характеристики їх розвитку // Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті : Матеріали XVIII міжн. наук.-практ. конф., 27-29.09.2017 р. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2017. С. 70-75.

16. Чернецька Ю.В. Дослідження проблеми управління розвитком систем розподілу електроенергії України в історичному контексті // The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April, 27-28, 2018. Brno: Baltija Publishing, 2018. С. 197-200.

17. Замулко А.І., Чернецька Ю.В., Гордієнко К.І. Опрацювання даних завантаженості трансформаторних підстанцій з використанням кластерного аналізу // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць V Міжн. наук.-практ. та навч.-метод. конф. у м. Києві 17-19 квітня 2018 р. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 22-24.

18. Праховник А.В., Находов В.Ф., Замулко А.І., Солоха (Чернецька) Ю.В., Степаненко Т. В. Актуальні питання управління попитом на електричну енергію та потужність // Проблеми розвитку енергетики. Погляд громадськості (збірка №7). К.: НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2010. С. 191-193.

АНОТАЦІЯ

Чернецька Ю.В. Управління ефективністю функціонування систем розподілу електричної енергії в умовах стимулюючого регулювання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – Енергетичні системи та комплекси. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2019.

Робота присвячена розв'язанню та науковому обґрунтуванню теоретичних і практичних задач управління ефективністю функціонування систем розподілу електричної енергії шляхом розроблення та удосконалення моделей і методів оцінювання результатів діяльності операторів систем розподілу (ОСР) щодо нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення об'єктів електричних мереж для цілей стимулюючого регулювання. Розроблено теоретичні основи для оцінювання та аналізу ефективності функціонування систем розподілу електричної енергії у розрізі зміни характеристик їх технічного стану, надійності, завантаженості та інноваційності на рівні об'єднаної енергосистеми України та на рівні окремого ОСР. Запропоновано комплекс показників та критеріїв оцінювання, що враховують існуюче інформаційне забезпечення органів державної влади, для застосування методів рейтингування ОСР та моделювання узагальненої індивідуальної оцінки ефективності функціонування кожної системи розподілу. Удосконалено механізм взаємодії регулятора ринку з ОСР з метою підвищення ефективності функціонування систем розподілу, а також нормативно-правове забезпечення діяльності ОСР щодо впровадження новітніх технологій і обладнання та планування розвитку систем розподілу.

Ключові слова: система розподілу електричної енергії, ефективність, оператор системи розподілу, оцінювання, регулятор ринку електроенергії.

АННОТАЦИЯ

Чернецкая Ю. В. Управление эффективностью функционирования систем распределения электрической энергии в условиях стимулирующего регулирования. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2019.

Работа посвящена решению и научному обоснованию теоретических и практических задач управления эффективностью функционирования систем распределения электрической энергии посредством разработки и усовершенствования моделей и методов оценивания результатов деятельности операторов систем распределения (ОСР) по новому строительству, реконструкции и техническому перевооружению объектов электрических сетей для целей стимулирующего регулирования. Разработаны теоретические основы для оценки и анализа эффективности функционирования систем распределения электрической энергии в разрезе изменения характеристик их технического состояния, надежности, загруженности и инновационности на уровне объединенной энергосистемы Украины и на уровне отдельного ОСР. Предложен комплекс показателей и критериев оценки, учитывающий существующее информационное обеспечение органов государственной власти, для применения методов рейтингования ОСР и моделирования обобщенной индивидуальной оценки эффективности функционирования каждой системы распределения. Усовершенствован механизм взаимодействия регулятора рынка и ОСР с целью повышения эффективности

функционирования систем распределения, а также нормативно-правовое обеспечение деятельности ОСП по внедрению новейших технологий и оборудования, планированию развития систем распределения.

Ключевые слова: система распределения электрической энергии, эффективность, оператор системы распределения, оценивание, регулятор рынка электроэнергии

ABSTRACT

Chernetska Yu. V. Performance management of electric power distribution systems under incentive regulation. – Manuscript.

Thesis of candidate degree (PhD) in technical sciences on speciality 05.14.01 – Energy systems and complexes. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis is devoted to solving and scientific substantiation of theoretical and practical issues of performance management of electric power distribution systems by means of improvement and elaboration of methods and tools for evaluation and estimation the distribution system operators (DSOs) activities under incentive regulation.

The thesis presents the results of complex analysis of the problems in the field of performance management of electric power distribution systems of Ukraine with the focus on improving network efficiency during the distribution system development (new construction for system expansion, reconstruction and modernization of the existing networks). This analysis had shown a new role of DSOs in modern distribution planning, and the importance to set up by electricity market regulator some incentives for improving the network efficiency; also the key characteristics of the electric power distribution systems were identified, which are “technical condition”, “reliability”, “load level” and “innovativeness”.

Considering the available information from the DSOs’ reports about electric power distribution systems development, the open list of indicators and evaluation criteria broken down by the mentioned key characteristics is proposed to calculate the DSOs’ performance rating. Applying of these criteria in conjunction with weighting patterns will highlight priority areas of regulatory policy. Annual review of the DSOs’ performance rating is offered as a tool for electricity market regulator to establish the long-term measurable benchmarks for the level of network efficiency and to improve the expenditure transparency contained in the investment programs of DSOs.

At the level of DSO, a generalized index for evaluating the level of electric power distribution system efficiency, which includes its technical condition, reliability, load level and innovativeness, is proposed; this efficiency index differs through using Mamdani fuzzy inference system to formalize decision-making process by means of representing the expert knowledge of humans to set of fuzzy rules with linguistic variables.

The thesis also considers cooperation between electricity market regulator, DSOs and stakeholders with the aim of modern distribution planning through developing the information platform “Ukrainian Smart Energy – USE” in order to information sharing and best practice dissemination among DSOs. Regulatory and legal provisions were updated to support DSOs activities for distribution system development.

Key words: electric power distribution system, efficiency, distribution system operator, estimation, electricity market regulator