

ЛІБЕРАЛІЗОВАНІ РИНКИ ЕНЕРГІЇ

LIBERALIZED ENERGY MARKETS

УДК 621.317.318

DOI 10.20535/1813-5420.1.2025.324271

О.В. Коцар¹, канд.техн.наук, ORCID 0000-0002-7958-2335
Є.О. Касьяненко¹, магістрант, ORCID 0009-0008-6704-6616

РОЛЬОВІ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ МІКРОМЕРЕЖАМИ

Процеси децентралізації супроводжуються перетворенням традиційних розподільних мереж на активні системи розподілу, до яких інтегровано збалансовані мікромережі, що містять мікрогенерувальні установки переважно на базі альтернативних та відновлюваних джерел енергії, навантаження та установки зберігання енергії. Управління активними системами розподілу вимагає принципово нових концептуальних підходів, якими має бути враховано, зокрема, базові засади утворення мікромереж і бізнес-моделі управління ними. У статті досліджено бізнес-моделі та описано розроблені рольові моделі управління мікромережами за DSOMM, PC, FMM, а також визначено особливості національного нормативно-правового забезпечення процесів утворення та функціонування енергетичних кооперативів, що обумовило доцільність розробки окремих рольових моделей для управління мікромережами прибуткових та неприбуткових енергетичних кооперативів. Бібл. 13. Рис. 4.

Ключові слова: активний споживач, енергетичний кооператив, мікромережа, модель мікромережі, модель управління мікромережею, ОУЗЕ, рольова модель, DSOMM, PC, FMM.

Вступ. У серпні 2024 року Верховною Радою України було прийнято зміни до Закону України “Про ринок електричної енергії” [1] якими визначено, зокрема, терміни “мікромережа”, “користувач мікромережі”, “острівний режим мікромережі”. Проте, ще на етапі отримання законопроекту Верховною Радою науково-експертним висновком [2] до вищезгаданого закону було висунуто низку зауважень. Зокрема, експерти зазначили, що запропоновані нові терміни, якими пропонувалось доповнити Закон [1], використовуються лише у якості визначень і далі по тексту Закону взагалі не згадуються. Крім того, у законодавчому вимірі немає загально визнаного розуміння того, наприклад, що є “групою взаємопов’язаних навантажень” або “здатність мікромережі працювати паралельно з об’єднаною енергетичною системою (ОЕС) України”, а також не визначено механізми реалізації таких режимів. Отже, постає актуальним питання дослідження моделей управління мікромережами в рамках національного законодавчого простору.

Метою досліджень є розробка рольових моделей управління мікромережами в рамках законодавства України. Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати національне законодавство, зокрема, в частині моделей мікромереж та управління ними; визначити особливості та оптимізувати бізнес-моделі управління мікромережами; розробити рольові моделі для кожної бізнес-моделі управління мікромережею.

Матеріал і результати досліджень. Сьогодні в науковій літературі виділяють три бізнес-моделі управління мікромережами, а саме: модель монополії оператора системи розподілу (*Distribution System Operator Monopoly Model*, DSOMM), консорціум просюмерів (*Prosumer Consortium*, PC) та модель вільного ринку (*Free Market Model*, FMM) [3]. У [4] досліджено можливість використання бізнес-моделей мікромереж в контексті нормативно-правової бази України. За результатами досліджень визначено, що національне законодавче забезпечення функціонування моделей мікромереж містить численні прогалини та колізії, втім, може бути основою для застосування бізнес-моделей управління мікромережами. В статті досліджено національне нормативно-правове забезпечення функціонування бізнес-моделей управління мікромережами. Результати досліджень бізнес-моделей управління мікромережами, а також необхідність усунення конфліктів інтересів гравців ринку обумовлюють необхідність розробки гармонізованих рольових моделей управління мікромережами залежно від нормативно-правових засад утворення і функціонування мікромережі та особливостей управління нею.

Суть управління мікромережею за DSOMM полягає у наділенні оператора мережі (оператора системи розподілу, ОСП, *Distribution System Operator*, DSO) широкими повноваженнями для управління мікромережею. Зазвичай, такі мікромережі розташовуються у географічно віддалених регіонах, де з техніко-економічних міркувань приєднання до загальної мережі є невиправданим. Рольову модель управління мікромережею за DSOMM наведено на рис. 1. Відповідно до запропонованої рольової моделі виробник, споживач та оператор установки зберігання енергії ОУЗЕ є сторонами, що приєднані до мережі

(СПМ), тобто фізичними або юридичними особами, які наділені правом відпускати або відбирати електроенергію до/з електричних мереж оператора системи (п.1.2.1 Кодексу комерційного обліку електричної енергії, ККОЕЕ [5]). Кожний учасник ринку електричної енергії є стороною, відповідальною за баланс (СВБ), проте, існують деякі винятки. Так, споживачі, що купують електроенергію за договором постачання електричної енергії у електропостачальника, не несуть відповідальність за власні небаланси (п.1.5.1 Правил ринку [6]), оскільки відповідно до ч.2 ст.70 Закону України “Про ринок електричної енергії” електропостачальники є СВБ своїх споживачів [1]. Крім того, будь-який учасник ринку електричної енергії може передати свою відповідальність за баланс іншій стороні за умови входження ним до балансувальної групи. Врегулювання небалансів здійснюється у взаємодії СВБ та оператора системи передачі (ОСП) відповідно до укладеного між ними договору.

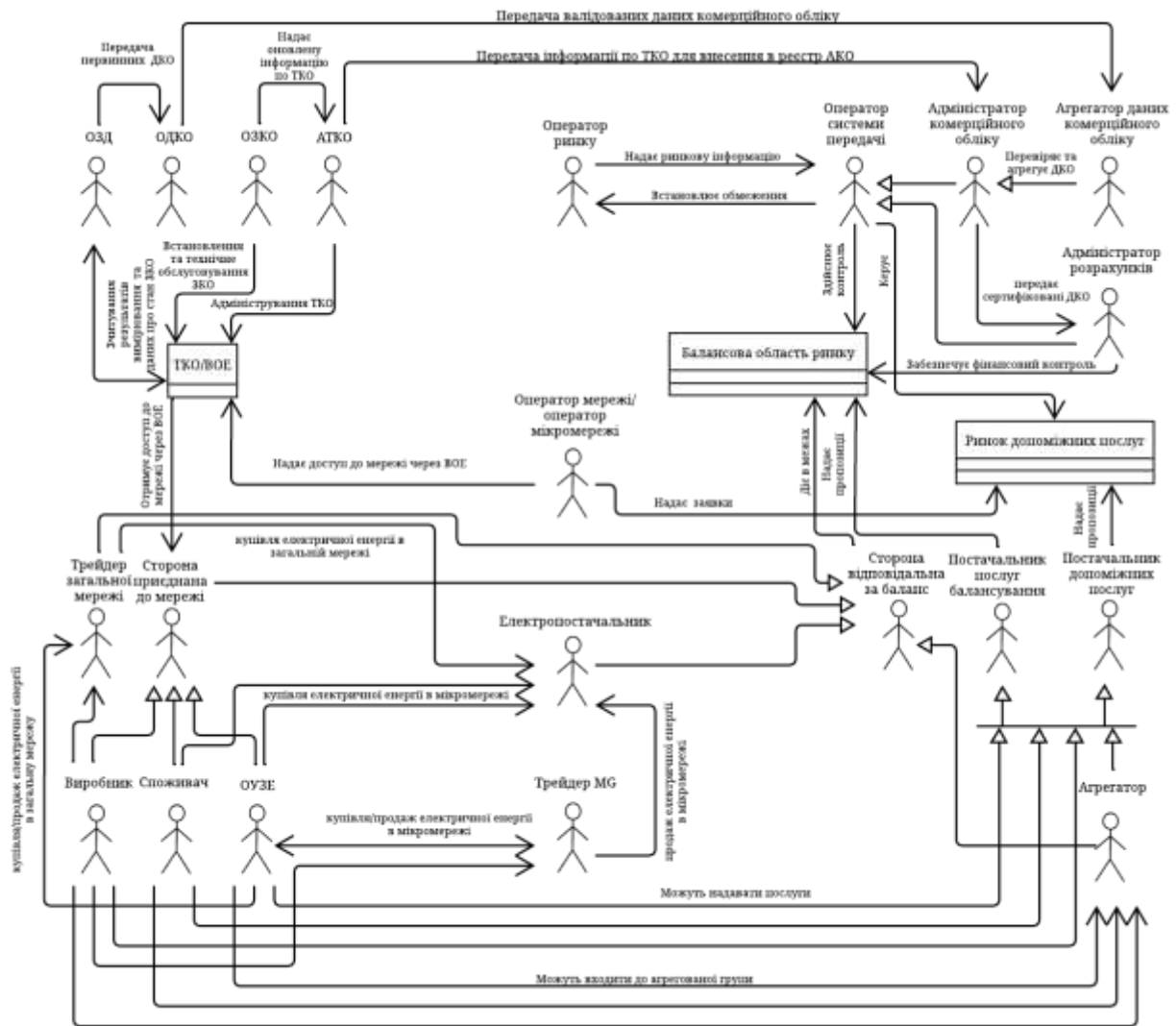


Рисунок 1 — Рольова модель управління мікромережею за DSOMM

Виробник, споживач та ОУЗЕ також можуть входити до агрегованої групи. При цьому одна електроустановка, що призначена для виробництва та/або споживання, та/або УЗЕ може входити лише до однієї одиниці агрегації, окрім електроустановок з встановленою потужністю понад 20 МВт, які відповідно до п.8 ст.30² Закону України «Про ринок електричної енергії» не можуть входити до складу одиниць агрегації [1].

Всі учасники ринку, які відповідно до Кодексу системи передачі (КСП) [7] володіють генерувальними одиницями типів В, С та D зобов'язані бути постачальниками послуг з балансування. Агрегатор зобов'язаний бути постачальником послуг балансування (ППБ) у разі управління ним генерувальними одиницями, що мають в складі одиниці відпуску із сумарною потужністю понад 1 МВт. Споживачі, ОУЗЕ та агрегатори, які не здійснюють управління одиницями відпуску, можуть стати ППБ на добровільних засадах (п.п.4.2.4-4.2.5 Правил ринку [6]). Балансувальний ринок (БР) електричної енергії

керований ОСП. З метою участі на БР учасник ринку подає заяву ОСП про наміри приєднання до нього та вноситься до реєстру ППБ. Оператор ринку (ОР) надає ОСП ринкову інформацію щодо результатів торгів на ринку «на добу наперед» (РДН) та внутрішньодобовому ринку (ВДР).

Як і на БР, участь на ринку допоміжних послуг (РДП) може бути як добровільною, так і обов'язковою. Власники генерувальних одиниць типу С та D, що були введені в експлуатацію після прийняття КСП, а також ті, що пройшли модернізацію та/або реконструкцію, зобов'язані мати технічну спроможність надання допоміжних послуг з резерву підтримки частоти (РПЧ), резерву відновлення частоти (РВЧ) та резерву заміщення (РЗ). Агрегатори, сумарна встановлена потужність яких складає 20 МВт і більше, також зобов'язані стати постачальником допоміжних послуг (ПДП) та пропонувати свої послуги з РПЧ, РВЧ та РЗ на аукціоні. Діяльність споживачів та ОУЗЕ на РДП є добровільною (п.п.3.1.5-3.1.6 Правил ринку [6]). РДП, як і БР керується ОСП. З цією метою ОСП забезпечує функціонування електронної платформи, де проводяться аукціони з приводу купівлі/продажу допоміжних послуг (ДП).

Споживачі та ОУЗЕ можуть закуповувати електричну енергію через електропостачальників як в мікромережі, так і в загальній мережі. Для здійснення цих дій споживачі мають бути вільними у виборі електропостачальників. Крім того, для споживачів, якими можуть бути і ОУЗЕ, існує можливість самостійно або через афільовану юридичну особу ставати електропостачальниками самим для себе, отримавши відповідну ліцензію для провадження такої діяльності. Проте, варто врахувати, що у разі закупівлі електричної енергії у трейдера мікромережі у першу чергу варто забезпечити електроенергією споживачів мікромережі, а надлишки можна реалізувати в загальній мережі.

Виробники та ОУЗЕ можуть продавати вироблену / накопичену електричну енергію як до мікромережі, так і до загальної мережі через трейдерів. Відповідно до п.92 ч.1 ст.1 Закону України «Про ринок електричної енергії» трейдерська діяльність характеризується закупівлею електричної енергії виключно з метою її перепродажу (окрім продажу електроенергії за договором постачання електричної енергії споживачу) [1]. Варто зазначити, що мікромережа функціонує, зокрема, з метою забезпечення приєднаних до неї споживачів електричною енергією в разі від'єднання мікромережі від загальної мережі (островізації). Саме тому вбачається доцільним поділ ролі трейдера на «трейдер мікромережі» та «трейдер мережі». Трейдер мікромережі може закуповувати електричну енергію у виробників як в мікромережі, так і в загальній мережі. Проте, першочерговим його завданням є продаж електричної енергії електропостачальникам, які забезпечують попит споживачів, приєднаних до мікромережі, і тому він має пріоритет під час закупівлі електричної енергії у виробників мікромережі. Трейдер мережі вільний у закупівлі електричної енергії у виробників мікромережі для загального ринку або ж перепродажу в мікромережі електричної енергії, закупленої у виробників загальної мережі.

Модель управління мікромережами РСs (рис.2) передбачає створення юридичного об'єднання споживачів, виробників і операторів установок зберігання енергії (ОУЗЕ) та передачу управління мікромережею агрегатору. На відміну від DSOMM, де ОСР має значний рівень монополії, у РС вагому роль відіграють саме виробники, споживачі (зокрема, активні користувачі) та ОУЗЕ.

Агрегатор здійснює діяльність, яка полягає в об'єднанні одиниць агрегації (генерування, навантаження та/або накопичення / зберігання) з метою закупівлі / продажу електричної енергії, постачання послуг балансування та/або допоміжних послуг. Відповідно до ч.2 ст.30² Закону України «Про ринок електричної енергії» агрегатор може агрегувати одну або декілька одиниць агрегації [1]. Активні споживачі здебільшого переслідують дві головні мети: максимізація прибутку шляхом продажу електричної енергії, виробленої власними генерувальними установками, або ж самозабезпечення своїх потреб. Виробники та ОУЗЕ можуть мати також два варіанти: або надавати право розпоряджатися виробленою / накопиченою електричною енергією агрегатору і вже він буде на власний розсуд її продавати та/або постачати ПБ та/або ДП. Інший варіант полягає в тому, що виробники та ОУЗЕ можуть самостійно продавати власну вироблену / накопичену електроенергію в оптовому ринку електроенергії (ОРЕ) та/або постачати послуги на БР та/або на РДП.

Виходячи з цього пропонується в межах управління мікромережею за моделлю РС створювати щонайменше дві агреговані групи (рис. 2). Перша агрегована група орієнтується на максимізацію прибутку, а отже виробники, споживачі та ОУЗЕ цілком покладаються на агрегатора та передають йому право розпоряджатися електричною енергією, що виробляється та/або зберігається учасниками, з метою одержання прибутку. Друга агрегована група орієнтується на максимальне забезпечення своїх потреб (для споживачів), а відносно виробників чи ОУЗЕ – на виконання попередньо обумовлених зобов'язань щодо продажу електричної енергії чи постачання ПБ та/або ДП, а надлишками електричної енергії можуть розпоряджатися на власний розсуд. Відповідно, виходячи з цілей учасників в конкретний період часу вони можуть входити та виходити з певної агрегованої групи, делегуючи право на розпорядження електричною енергією, що була вироблена власними генерувальними установками та/або збережена в УЗЕ або ж розпоряджатися нею самостійно.

Результати дослідження особливостей національної законодавчої бази стосовно енергетичних кооперативів, а саме: можливість їхнього утворення відповідно до Закону України «Про кооперацію» [8]

(виключно неприбуткові кооперативи) та Закону України “Про споживчу кооперацію” [9] (можливий варіант отримання прибутку), обумовлюють необхідність розробки двох різних рольових моделей управління їхніми мікромережами. У випадку прибуткового енергетичного кооперативу доцільною бачиться модель РС. Що ж стосується неприбуткового кооперативу, то доцільно передбачити можливість закупівлі електричної енергії для споживача та ОУЗЕ у електропостачальника із загальної мережі (наприклад, коли обсяг генерації в межах мікромережі є недостатнім). Також варто передбачити роль трейдера, що дозволить виробникам та ОУЗЕ мікромережі продавати електричну енергію до загальної мережі (рис. 3).

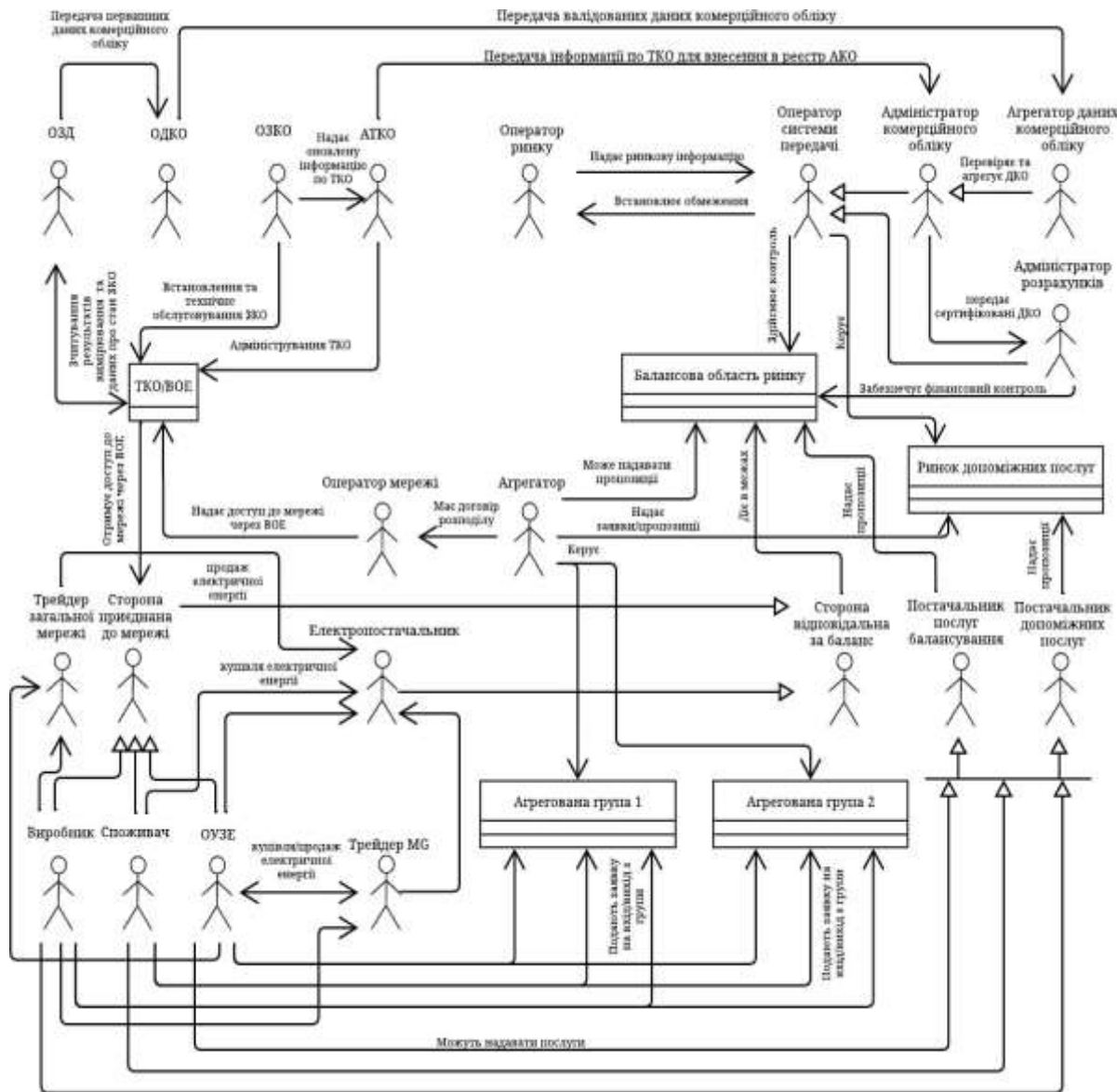


Рисунок 2 — Рольова модель управління мікромережею РС / прибуткового енергетичного кооперативу

Наявність ролей електропостачальника і трейдера всередині мікромережі є недоцільною через те, що споживачі можуть напряму обмінюватись електричною енергією з метою досягнення цілей кооперативу. Враховуючи те, що неприбутковий енергетичний кооператив не має на меті отримання прибутку, то можна стверджувати, що головною метою такого енергетичного кооперативу є надійне забезпечення споживачів електричною енергією, яку вироблено власними генерувальними установками.

Відповідно до ч.7-9 ст.58¹ Закону України “Про ринок електричної енергії” [1] активні споживачі зокрема, енергетичні кооперативи мають право приєднувати до власних мікромереж генерувальні установки та УЗЕ, що належать третім особам з метою подальшого викупу всього виробленого ними обсягу електричної енергії. При цьому продаж електричної енергії, що вироблена генерувальними установками третіх осіб та/або відпущена з УЗЕ за умови приєднання їх до мереж активного споживача не

вважається постачанням електричної енергії в розумінні Закону України “Про ринок електричної енергії” [1], а отже не потребує отримання ліцензії за умови не перевищення встановленої потужності приєднаних до мікромережі активного споживача генерувальних установок 5 МВт. Надлишки, які не було використано активним споживачем, продаються на ринку електричної енергії за механізмом самовиробництва. Що стосується європейського законодавства, то у п.43 Директиви 2019/944 вводится таке поняття як “спільне використання електричної енергії” (“Community energy offers an inclusive option for all consumers to have a direct stake in producing, consuming or sharing energy”) [10]. Під спільним використанням електричної енергії, розуміється обмін електроенергією, що вироблена генерувальними установками в межах енергетичної спільноти. Крім того, п.46 Директиви 2019/944 дозволяє обмінюватись електроенергією не знаходячись в безпосередній фізичній близькості до генерувальної установки [6], але варто зазначити, що у такому випадку енергетичну спільноту не можна вважати мікромережею.

Модель вільного ринку FMM (рис. 4) характеризується максимальною свободою власників генерувальних одиниць в своїх діях. Мікромережі за FMM керуються виходячи з різних мотивів (економічних, технічних, екологічних тощо) заінтересованих сторін (ОСР, споживачів, агрегаторів) і заплановані режими функціонування мікромережі узгоджуються консенсусом залучених учасників щодобово в реальному часі [11].

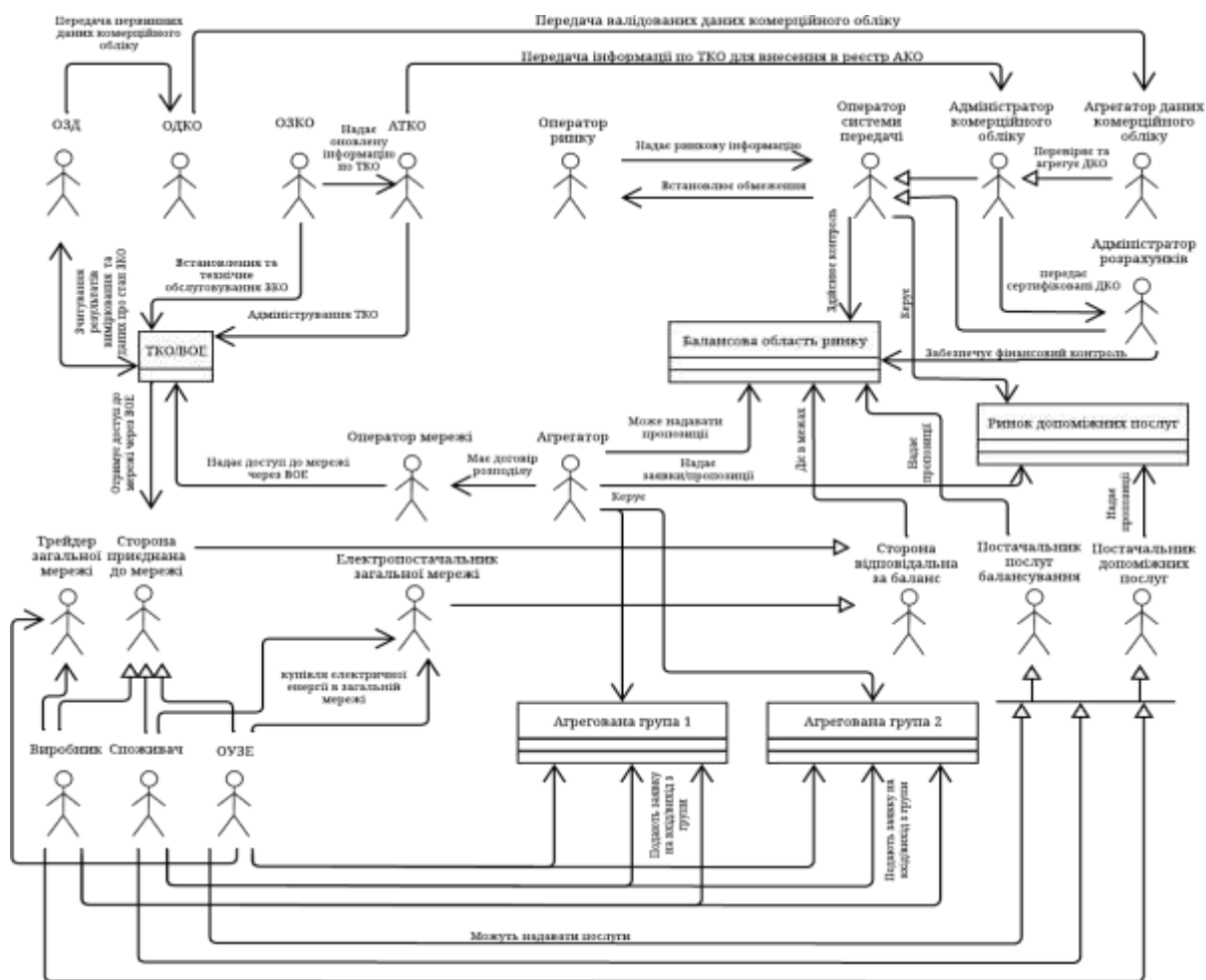


Рисунок 3 — Рольова модель управління мікромережею неприбуткового енергетичного кооперативу

За такого підходу власне операційне управління режимами з урахуванням результатів перемовин, що були досягнуті між гравцями, реалізується в автоматичному режимі центральним контролером мікромережі (*Microgrid Central Controller, MGCC*), який одночасно відповідає за баланс в мікромережі, здійснює контроль імпорту та експорту електричної енергії, забезпечує управління функціонуванням мікромережі, а також моніторинг рівня викидів. Таким чином, потенційні бенєфіти за результатами функціонування мікромережі буде розподілено між усіма залученими учасниками на узгоджених умовах [12; 13].

Можна сказати, що FMM являє собою лібералізовану модель ринку електричної енергії у “мікро” масштабі. ОСР є єдиним і відокремленим від інших ролей та не може здійснювати діяльність з

виробництва, зберігання та постачання електричної енергії. Так, ОСР не може зловживати і зобов'язувати, наприклад, споживачів використовувати наявні джерела генерації в межах мікромережі для задоволення власних потреб (з метою уникнення впливу на режими розподільної мережі), коли ціни на загальному ринку електричної енергії є вигіднішими для споживачів. З іншого боку, управління мікромережею виключно споживачами, які зазвичай прагнуть передусім до економії витрат на електроенергію, може спричинити негативний вплив на режими розподільної мережі. Отже, FMM дозволяє врахувати інтереси всіх залучених сторін у максимально прозорий спосіб, але є вкрай складною для реалізації моделлю управління мікромережею.

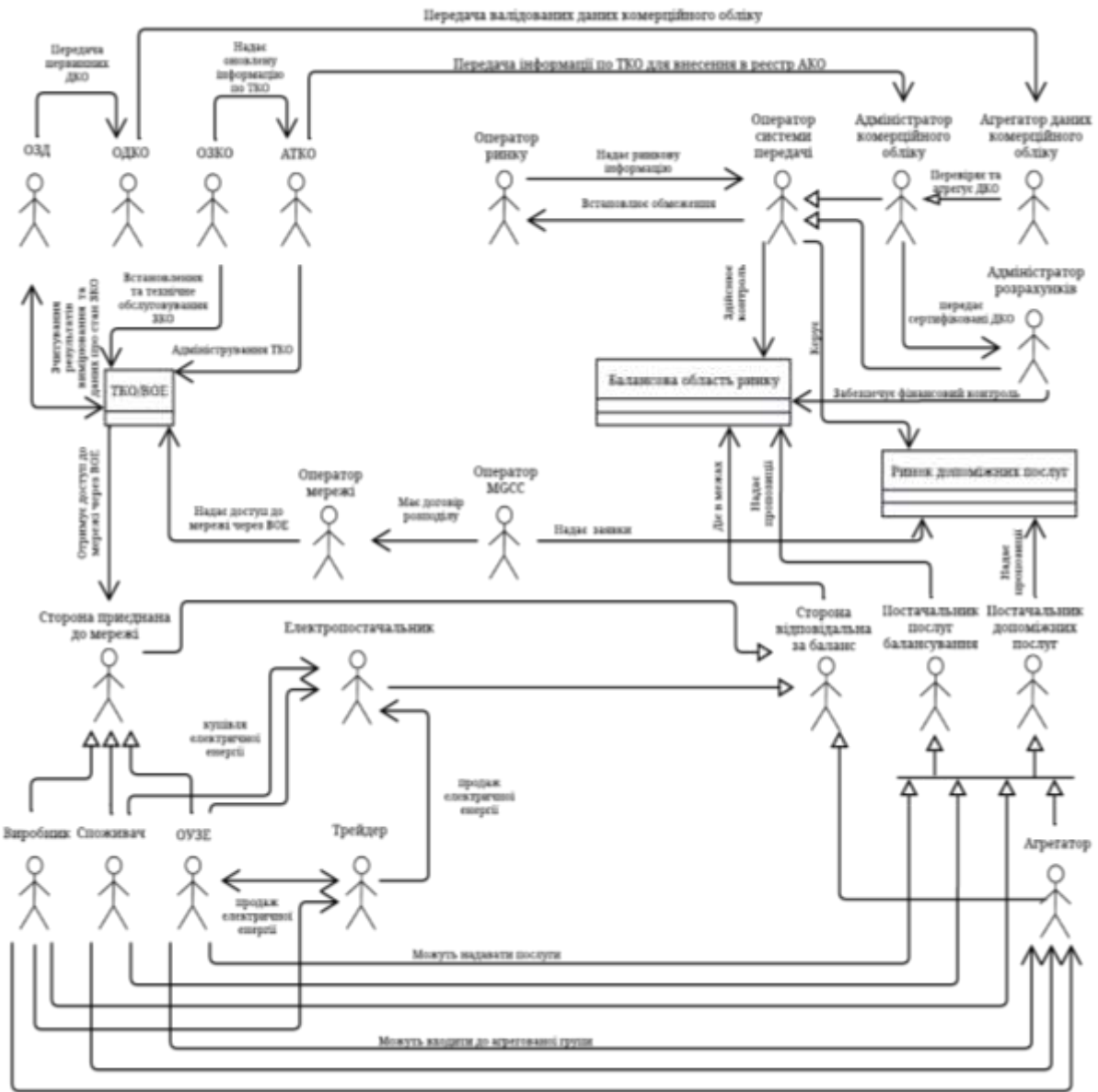


Рисунок 4 — Рольова модель управління мікромережею за FMM

Висновки. Розроблені рольові моделі управління мікромережами узгоджені із загальноприйнятою моделлю мікромережі консорціуму просюмерів і враховують особливості національного законодавства щодо мікромереж прибуткових та неприбуткових енергетичних кооперативів. Проте варто зазначити, що наявні численні невизначеності і прогалини стосовно енергетичних кооперативів, утворення і діяльність яких сьогодні регулюється на основі застарілої законодавчої бази, що стосується різних типів кооперативів: виробничих, обслуговувальних, споживчих. То ж продуктивне застосування мікромереж в Україні вимагає передусім вдосконалення національного нормативно-правового забезпечення процесів їхнього утворення і застосування. Розв'язання зазначеної проблеми дозволить збільшити продуктивність мікромереж та суттєво посилить їхню керованість, що сприятиме підвищенню стійкості об'єднаної електроенергетичної системи України.

Список використаної літератури

1. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13 квіт. 2017 р. № 2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 20.05.2024).
2. Висновок на проект Закону України “Про внесення змін до деяких законів України щодо врегулювання окремих питань використання термінології у сфері впровадження “розумних мереж”. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/pubFile/2283863> (дата звернення: 20.05.2024)
3. Behrendt, J. (2023). Microgrids and EU law: Three Microgrid models to solve one regulatory puzzle, *Energy Policy*, Elsevier, vol. 177(C). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152300068X>
4. Коцар О.В., Касьяненко Є.О. Аналіз моделей управління microgrid в національному законодавчому та регуляторному просторі // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2024. – № 3. – С. 110–124. URL: <https://energy.kpi.ua/issue/view/18520/11474>
5. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії: Постанова НКРЕКП № 311 від 14.03.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18/ed20240112#Text> (дата звернення: 05.06.2024)
6. Про затвердження Правил ринку: Постанова НКРЕКП № 307 від 14.03.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18> (дата звернення: 30.05.2024)
7. Про затвердження Кодексу системи передачі: Постанова НКРЕКП № 309 від 14.03.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text> (дата звернення: 05.06.2024)
8. Про кооперацію: Закон України від 10 лип. 2003 р. № 1087. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1087-15#Text> (дата звернення: 25.05.2024).
9. Про споживчу кооперацію: Закон України від 10 квіт. 1992 р. № 2265. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2265-12#Text> (дата звернення: 25.05.2024)
10. Про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії та внесення змін до Директиви 2012/27/ЄС: Директива Європейського парламенту і Ради (ЄС) 2019/944 від 05 черв. 2019 р. URL: <https://energysecurityua.org/ua/brify/dyrektyva-yes-2019-944-yevropeyskoho-parlamentu-i-rady-vid-05-cherwnia-2019-roku/> (дата звернення: 20.10.2024);
11. Hatziaargyriou, Nikos. (2014). Microgrids: Architectures and Control. URL: <http://www.microgrids.eu/documents/682.pdf> (дата звернення: 20.10.2024)
12. Ferruzzi, Gabriella & Graditi, G.. (2017). Optimal Scheduling of a Microgrid under Uncertainty Condition. URL: https://www.researchgate.net/profile/Gabriella-Ferruzzi-2/publication/346836386_Optimal_Scheduling_of_a_Microgrid_under_Uncertainty_Condition/links/5fd8da58a6fdccdb8cc7f2d/Optimal-Scheduling-of-a-Microgrid-under-Uncertainty-Condition.pdf (дата звернення: 20.10.2024)
13. Mariya Soshinskaya, Wina H.J. Crijns-Graus, Josep M. Guerrero, Juan C. Vasquez, Microgrids: Experiences, barriers and success factors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 40, 2014, Pages 659-672. URL: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/201870862/Paper_barriers_microgrid.pdf (дата звернення: 20.10.2024)

O. Kotsar¹, Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0002-7958-2335

Ye. Kasianenko¹, магістрант, ORCID 0009-0008-6704-6616

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

MICROGRID MANAGEMENT ROLE MODELS

Decentralization processes are accompanied by the transformation of traditional distribution networks into the active distribution systems, into which balanced microgrids are integrated, containing microgeneration units mainly based on alternative and renewable energy sources, loads and energy storage units. Management of active distribution systems requires fundamentally new conceptual approaches, which should take into account, in particular, the basic principles of microgrid formation and business models for their management. The paper examines business models and describes the developed role models for microgrid management according to DSOMM, PC, FMM, and also identifies the features of the national regulatory and legal support for the processes of formation and functioning of energy cooperatives, which determined the expediency of developing separate role models for microgrid management of profitable and non-profit energy cooperatives. References 13. Figures 4.

Keywords: active consumer, CDS, CEC, DSOMM, energy cooperative, FMM, MCP, microgrid, microgrid model, microgrid management model, PC, prosumer, role model.

References

1. On the electric energy market: Law of Ukraine dated April 13 2017 No. 2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (accessed at: 05/20/2024).
2. Conclusion on the draft Law of Ukraine "On Amendments to Some Laws of Ukraine Regarding the Regulation of Certain Issues of the Use of Terminology in the Field of Implementation of "Smart Networks"". URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/pubFile/2283863> (accessed at: 05/20/2024)
3. Behrendt, J. (2023). Microgrids and EU law: Three Microgrid models to solve one regulatory puzzle, *Energy Policy*, Elsevier, vol. 177(C). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152300068X>
4. Kotsar O.V., Kasianenko Ye.O. Analysis of microgrid management models in the national legislative and regulatory space // *Energy: economics, technologies, ecology*, 2024. – No. 3. – P. 110–124. URL: <http://energy.kpi.ua/issue/view/18520/11474>
5. On approval of the Code of Commercial Electricity Accounting: Resolution of the National Commission for the Regulation of the National Energy Regulatory Commission No. 311 of 14.03.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18/ed20240112#Text> (access date: 05.06.2024)
6. On approval of the Market Rules: Resolution of the National Commission for the Regulation of the National Energy Regulatory Commission No. 307 of 14.03.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18> (access date: 30.05.2024)
7. On approval of the Transmission System Code: Resolution of the National Commission for the Regulation of the National Energy Regulatory Commission No. 309 of 14.03.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text> (access date: 05.06.2024)
8. On cooperation: Law of Ukraine dated July 10 2003 No. 1087. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1087-15#Text> (accessed at: 05/25/2024).
9. On consumer cooperation: Law of Ukraine dated April 10 1992 No. 2265. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2265-12#Text> (accessed at: 05/25/2024)
10. On common rules of the internal electricity market and amendments to Directive 2012/27/EU: Directive of the European Parliament and of the Council (EU) 2019/944 of June 5. 2019 URL: <https://energysecurityua.org/ua/brify/dyrektyva-yes-2019-944-yevropeykoho-parlamentu-i-rady-vid-05-chervnia-2019-roku/> (accessed at: 10/20/2024)
11. Hatzigrygiou, Nikos. (2014). Microgrids: Architectures and Control. URL: <http://www.microgrids.eu/documents/682.pdf> (accessed at: 20.10.2024)
12. Ferruzzi, Gabriella & Graditi, G. (2017). Optimal Scheduling of a Microgrid under Uncertainty Condition. URL: https://www.researchgate.net/profile/Gabriella-Ferruzzi-2/publication/346836386_Optimal_Scheduling_of_a_Microgrid_under_Uncertainty_Condition/links/5fd8da58a6fdccdb8cc7f2d/Optimal-Scheduling-of-a-Microgrid-under-Uncertainty-Condition.pdf (accessed at: 20.10.2024)
13. Mariya Soshinskaya, Wina H.J. Crijns-Graus, Josep M. Guerrero, Juan C. Vasquez, Microgrids: Experiences, barriers and success factors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 40, 2014, Pages 659-672. URL: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/201870862/Paper_barriers_microgrid.pdf (accessed at: 20.10.2024)

Надійшла: 11.12.2024

Received: 11.12.2024