

ЛІБЕРАЛІЗОВАНІ РИНКИ ЕНЕРГІЇ LIBERALIZED ENERGY MARKET

УДК 621.311.16

М.Т. Стрелков, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СТАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Метою статті є проведення структурного аналізу й побудова статичної структурної моделі системи ринку електроенергії. Оскільки складовими, відповідальними за побудову системи ринку електроенергії, виступають технологічна й комерційна підсистеми, їх структурні моделі представлено у вигляді орієнтованих графів відповідно до етапів реформування електроенергетики й запроваджуваних моделей товарного ринку електроенергії. Структурну модель технологічної підсистеми побудовано на технічній і виробничій мовах у вигляді плоских графів об'єктної і суб'єктної структурних моделей. Структурну модель комерційної підсистеми побудовано на торговій і фінансовій мовах у вигляді плоских графів для неконкурентних моделей і неплоских графів для конкурентних моделей товарного ринку електроенергії. Показано, що побудовані структурні моделі технологічної і комерційної підсистем можна об'єднувати, створюючи тим самим мультиграфи структурної моделі системи ринку електроенергії.

Ключові слова: електроенергетика, ринок електроенергії, система ринку, структура системи, модель структури, статична модель.

Вступ. Внутрішній устрій системи ринку електричної енергії являє собою єдність її складу, структури й організації. Склад системи ринку електроенергії [1], як сукупність всіх її елементів, – необхідна, але не достатня характеристика цілісної системи, оскільки саме тип зв'язків між її елементами визначає поведінку системи. Так елементи системи ринку електричної енергії, маючи просторову, часову і цільову організацію, певним чином пов'язуються та взаємодіють між собою. У цьому випадку структура системи ринку електроенергії, як сукупність стійких міжелементних зв'язків, забезпечує цілісність і тотожність системи, зберігаючи її основні властивості за різних внутрішніх і зовнішніх перетворень. У той же час, система ринку електричної енергії є багатофункціональною, з багатьма процесами, що робить її багатомірною, з існуючою множинністю структури.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є проведення структурного аналізу системи ринку електроенергії як сукупності суттєвих зв'язків між її елементами. Завдання дослідження полягає в побудові статичної структурної моделі системи ринку електричної енергії як подальший розвиток статичної моделі її складу. У цьому контексті пропонується структурна модель повинна враховувати багатомірність системи ринку й відображати множинність її структури, за яких інваріантність виступає визначальним моментом її побудови. Оскільки відповідальними складовими побудови систему ринку електроенергії є технологічна й комерційна підсистеми [1], їх структурні моделі слід представити у вигляді орієнтованих графів відповідно запроваджуваним на етапах реформування електроенергетики (реструктуризація, демонополізація, лібералізація) моделям товарного ринку електроенергії (оптово-роздрібною монополією, оптової монополією, оптової конкуренції, роздрібною конкуренції). Також слід виявити відповідність між топологією й елементами графів обох підсистем з метою їх подальшого об'єднання як мультиграфів структурної моделі системи ринку електричної енергії.

Структурна модель технологічної підсистеми ринку електричної енергії. Технологічна підсистема об'єднує різні елементи своїх підсистем в єдине ціле задля виробництва електроенергії, надання пов'язаних з цим послуг та її споживання, підтримуючи тим самим функції виробництва і споживання у циклі відтворення в системі ринку електричної енергії. Оскільки технологічна підсистема, як елемент системи другого порядку, є виробничо-технічною системою, до її конфігуратора доцільно включити дві мови, які вже покладено у визначення підсистеми та які умовно назовемо «технічною» і «виробничою». У той же час, обидві мови є мовами заміниками, що потребує побудови двох, відповідно до обраної мови, взаємопов'язаних структурних моделей. Але незалежно від обраної мови, сукупність нерозривних у часі процесів електропостачання і споживання електроенергії повинна інтегруватися у загальні поняття, за якими визначаються наведені в таблиці елементи технологічної підсистеми ринку електроенергії та їх відповідність системоутворюючим ринкам [1-2].

Таблиця 1 – Декомпозиція технологічної підсистеми та відповідність її елементів утворюючим систему ринкам (в дужках)

Склад технологічної підсистеми другого порядку		
Підсистема генерування (Товарний ринок електричної енергії)	Підсистема транспортування (Ринок послуг передавання і розподілення електроенергії)	Підсистема споживання (Товарний ринок електричної енергії)
Підсистема диспетчеризації (Ринок системних допоміжних технологічних послуг)		

На технічній мові технологічну підсистему можна визначити як об'єктну систему, в структурі якої переважають внутрісистемні зв'язки у формі фізичної взаємодії, які не змінюються ні у просторі, ні у часі, але технічно підпорядковані людиною у придатну, корисну для неї форму використання. Оскільки технічною основою технологічної підсистеми виступає електроенергетична система, структурна модель технологічної підсистеми повинна враховувати мережеві зв'язки між її елементами. Останнє використано при побудові на рис.1 об'єктної структурної моделі технологічної підсистеми ринку електроенергії у вигляді плоского орієнтованого графа. Вершини графа для зручності представлено прямокутниками, оскільки кожна з його вершин (об'єкт системи) має свою назву, яку скорочено позначено в прямокутнику. Крапки, поставлені між вершинами графа, показують, що існує певна множина подібних однойменних вершин і гілок. За такою моделлю елементами підсистеми генерування (вершини графа) будуть різні за технологіями виробництва електрогенеруючі установки (ЕГУ), приєднані до передавальної електричної мережі високої напруги (ПЕМ-ВН), яка разом з приєднаними до неї і територіально розмежованими розподільчими електричними мережами низької напруги (РЕМ-НН) утворюють підсистему транспортування (вузли графа). Елементами підсистеми споживання (вершини графа) будуть електричні приймачі (ЕП), кожен з яких приєднується до своєї місцевої РЕМ-НН у складі підсистеми транспортування. Елементи підсистеми диспетчеризації мають прямий або опосередкований зв'язок з елементами всіх підсистем. Цей зв'язок, маючи іншу форму, але не природу взаємодії, на графі не відображається, оскільки спрямовані гілки графа показують напрям фізичних перетоків електроенергії.

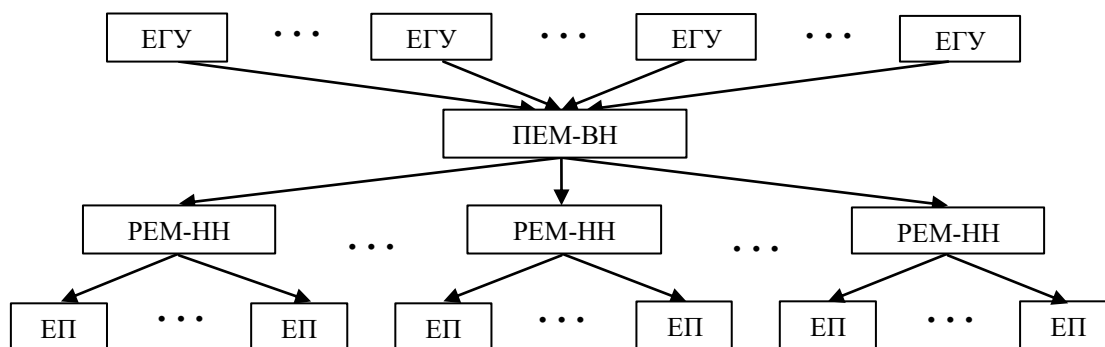


Рисунок 1 – Об'єктна модель структури технологічної підсистеми ринку електроенергії

На виробничій мові технологічну підсистему можна визначити як суб'єктну систему, в структурі якої переважають системні зв'язки у формі внутрішньогалузевої взаємодії, створені людиною задля господарського відтворення виробничого процесу електропостачання і споживання електроенергії. Оскільки виробничою основою технологічної підсистеми виступає електроенергетична галузь, структурна модель технологічної підсистеми повинна відповідати необхідній для цього послідовності нерозривних у просторі і часі виробничих зв'язків між електроенергетичними компаніями (ЕКо), спеціалізованими за стадіями технологічного процесу електропостачання. Останнє використано при побудові на рис.2 суб'єктної структурної моделі технологічної підсистеми ринку електроенергії у вигляді плоского орієнтованого графа. Вершини графа також представлено прямокутниками, оскільки кожна з його вершин (суб'єкт галузі) має свою назву, скорочено позначену в прямокутнику. Підсистему генерування (вершини графа) тепер утворює сукупність генеруючих електроенергетичних компаній

(ГЕКо), кожна з яких складається щонайменш з однієї ЕГУ. Передавальна електроенергетична компанія (ПЕКо), до складу якої входять лінії електропередачі високої напруги (ПЕМ-ВН), і розподільчі електроенергетичні компанії (РЕКо), територіально створені на базі місцевих електророзподільних ліній низької напруги (РЕМ-НН), утворюють разом підсистему транспортування (вузли графа). Сукупність споживачів електроенергії (СЕ), промислових, комерційних і побутових, що володіють ЕП, утворює підсистему споживання (вершини графа). Підсистему диспетчеризації очолює системний оператор (СО) у складі ПЕКо або незалежний системний оператор (НСО). Він має прямий або опосередкований зв'язок з елементами всіх підсистем. Цей зв'язок, маючи іншу форму, але не природу взаємодії, на графі не відображається, оскільки спрямовані гілки графа показують напрям товарних потоків електроенергії.

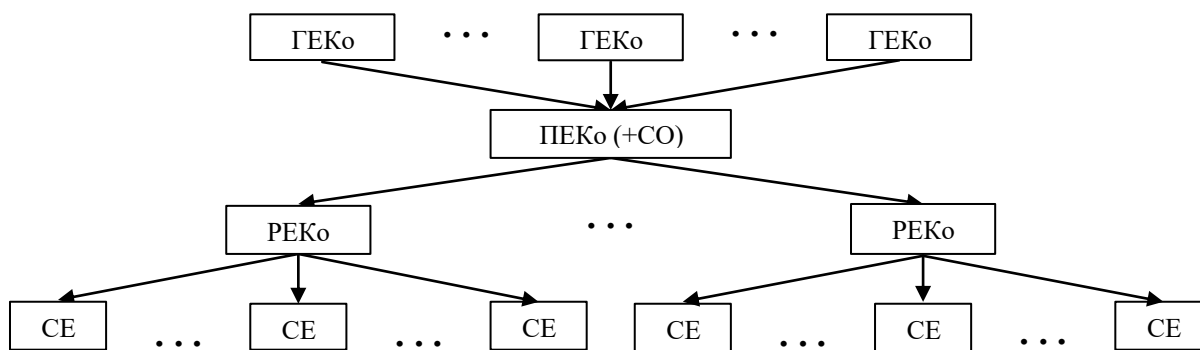


Рисунок 2 – Суб'єктна модель структури технологічної підсистеми ринку електроенергії

Кожен СЕ «ідентифікується» з одним ЕП, та якщо припустити, що кожна ГЕКо і РЕКо володіють відповідно однією ЕГУ і РЕМ-НН, то графи об'єктної (рис.1) і суб'єктної (рис.2) структурних моделей технологічної підсистеми співпадуть за топологією. Але відмінність у вибраній мові конфігуратора, про що свідчать умовні скорочення в прямокутниках вершин, збереже принципову різницю між моделями. Вершинами й вузлами графа на першому рисунку є об'єкти електроенергетичної системи, на другому – суб'єкти електроенергетичної галузі. Важливо те, що останні, на відміну від перших, мають під собою певну юридичну базу, яка забезпечує їх створення, функціонування і розвиток, злиття та роз'єднання, зміну форми власності й управління, ліквідацію. Саме вони «чутливі» до економічних ефектів масштабу і поєднання (різноманіття) виробництв, за якими визначають структуру галузі, доцільність і своєчасність процесів реструктуризації й демонополізації електроенергетики [3-5]. На практиці зроблене припущення, як правило, не виконується, оскільки суб'єкти електроенергетичної галузі можуть або намагаються володіти декількома об'єктами електроенергетичної системи. Тоді графи об'єктної і суб'єктної структурних моделей будуть відрізнятися кількістю вершин і гілок. Але, незважаючи на це, обидві структурні моделі є симетричними відображеннями структури однієї тієї технологічної підсистеми ринку електроенергії. При цьому об'єктне відображення є інваріантним, незмінним за будь-яких структурних перетворень галузі, суб'єктне відображення – варіантним, «чутливим» до внутрішньогалузевих змін. Тому етапи реструктуризації й демонополізації електроенергетики можна відобразити саме через суб'єктні моделі структури технологічної підсистеми, оскільки вони, на відміну від об'єктної структурної моделі, є варіантними до структурних змін, що відбуваються в галузі.

Проілюструємо реструктуризацію електроенергетики, яка є процесом трансформації вертикально інтегрованої галузі у диференційовану, у вигляді графів декількох перехідних суб'єктних структурних моделей технологічної підсистеми. Перші три графи (рис.3,а-в) відображають процес вертикальної дезінтеграції, коли відбувається перехід від комбінованого виробництва взаємопов'язаної фізично продукції галузі однією електроенергетичною компанією до розділеного виробництва цієї продукції спеціалізованими за виробництвами ЕКо. Іноді для зменшення розміру рисунку графів однойменні вершини й гілки будемо позначати агрегованими гілкою й вершиною у вигляді трьох різнопланово розташованих прямокутників з єдиним позначенням, наприклад, СЕ на рис.3,а-д. За вертикальної інтеграції (рис.3,а) усі виробничі суб'єкти технологічної підсистеми входять до складу єдиної генеруючо-передавально-розподільчої ЕКо, відображеної на графі вузлом ГПР-ЕКо. У випадку часткової вертикальної інтеграції (рис.3,б) замість єдиного вихідного вузла маємо дві послідовно зв'язані вершини генеруючо-передавальної ЕКо (ГП-ЕКо) й РЕКо, де остання також є вузол. За вертикальної диференціації (рис.3,в) усі виробничі суб'єкти технологічної підсистеми розділяються за трьома спеціалізованими ЕКо відповідно стадіям технологічного процесу електропостачання, і на графі замість двох маємо три послідовно зв'язані вершини ГЕКо, ПЕКо й РЕКо, де остання залишається вузлом. На етапі реструктуризації також відбувається часткова горизонтальна дезінтеграція, яка може бути

розпочата за будь-якої попередньої галузевої структури, що відображають два останні графи (рис.3,г-д). На цих структурних графах технологічної підсистеми відображено перехід у підсистемі транспортування від комбінованого виробництва однорідної продукції (розподілення електроенергії) однією спеціалізованою РЕКо до розділеного виробництва цієї продукції декількома територіально розмежованими РЕКо. На етапі реструктуризації СО входить до складу ПЕКо, яка, у свою чергу, може бути у складі ГПР-ЕКо (рис.3,а), ГП-ЕКо (рис.3,б,г) або бути відокремленою (рис.3,в,д).

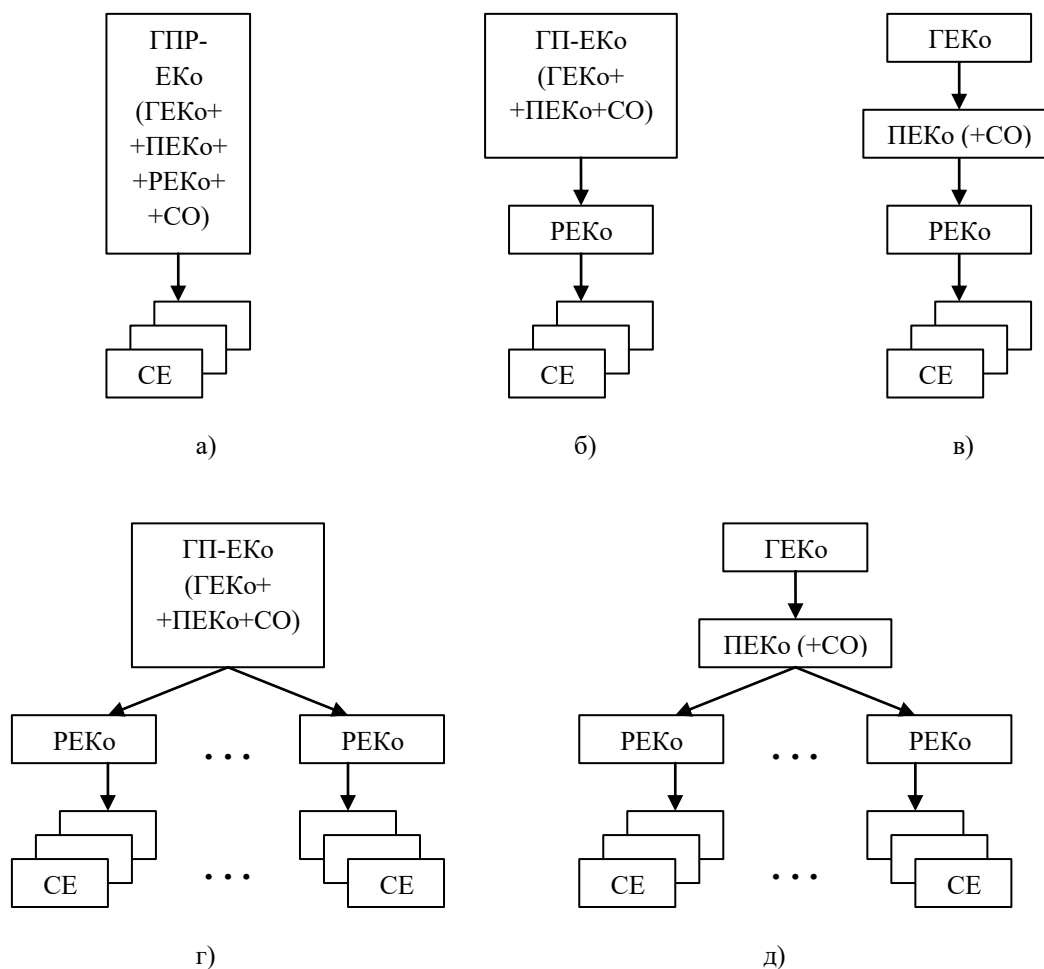


Рисунок 3 – Реструктуризація електроенергетики за структурними моделями технологічної підсистеми

Втрата субадитивності витрат у виробництві електроенергії починає етап демонополізації галузі. У підсистемі генерування відбувається перехід від комбінованого виробництва однорідної продукції (електроенергії) однією спеціалізованою ГЕКо до розділеного виробництва цієї продукції декількома ГЕКо. Так завершується розпочата на етапі реструктуризації горизонтальна дезінтеграція галузі, за якої суб'єктна структурна модель (рис.3,д) перетворюється на граф, побудований нами раніше на рис.2. Саме останній, за активності нашого припущення, співпадає за топологією із графом об'єктної структурної моделі, побудованим на рис.1. Це означає, що по завершенню дезінтеграційних процесів кількість внутрішньосистемних зв'язків (гілок графа за існуючих вершин) може досягти свого допорогового рівня, що тільки зміцнить систему. З цієї точки зору об'єктна структурна модель технологічної підсистеми за подальшого реформування електроенергетики повинна залишатись інваріантною за досягнутим рівнем внутрішньогалузевих зв'язків. На етапі демонополізації СО може бути у складі ПЕКо, як показано на рис.2, або відокремитись у НСО.

За обома структурними моделями технологічна підсистема ринку електроенергії є обмеженою у просторі (електроенергетичною системою за об'єктною моделлю й електроенергетичною галуззю за суб'єктною моделлю), але не є обмеженою у часі. Вона може існувати нескінченно довго і поступово адаптуватись до змін зовнішнього середовища, але обмеженість у просторі, як відомо, схилитиме її до інтенсивного використання доступних їй ресурсів. Як приклад, на етапі лібералізації часом

спостерігаються певні зворотні інтеграційні процеси, що призводить до зменшення допорогової кількості внутрішньогалузевих зв'язків, що ослаблює систему.

Структурна модель комерційної підсистеми ринку електричної енергії. Комерційна підсистема об'єднує різноманітні елементи своїх підсистем в єдине ціле задля обміну ресурсами й продукцією ринку, підтримуючи тим самим функції розподілу й обміну в циклі відтворення в системі ринку електроенергії. Оскільки комерційна підсистема, як елемент системи другого порядку, є торгово-фінансовою системою, що складається з підсистем розповсюдження та контрактної підсистеми [1-2], до її конфігуратора доцільно включити дві мови, які вже покладено у визначення підсистеми, та які умовно назовемо «торговою» і «фінансовою». По суті обидві мови є доповнюваними для більш широкої економічної мови, що дозволяє побудувати одну, прийнятну на двох мовах, структурну модель комерційної підсистем ринку електроенергії. У такій моделі торгово-фінансові зв'язки між первинними продавцями, торговими посередниками й кінцевими покупцями, що носять умовний (договірний) характер і впорядковані людиною для здійснення торгових транзакцій на ринку електроенергії, задаватимуть її структуру [2, 5]. Сказане використано при побудові структурної моделі комерційної підсистеми ринку електроенергії у вигляді плоских та неплоских орієнтованих графів, вершини яких представлено прямокутниками, оскільки кожна вершина графа (суб'єкт ринку) має свою назву, скорочено позначену в прямокутнику.

На торговій мові граф комерційної підсистеми буде відображенням її підсистем розповсюдження, його вершини будуть позначати суб'єктів оптового і роздрібних ринків електроенергії, зв'язки між якими визначатимуться метою їх торгової діяльності [6]. За такого відображення оптовий ринок буде сегментом ринку (сукупністю зв'язаних вершин графа), на якому електроенергія купується з метою професійного використання (комерційного або виробничого). Оскільки оптова торгівля – це метод розповсюдження продукції ринку між тими, хто купує її саме з цією метою, оптовий торговець (ОТ) буде виконувати на оптовому ринку роль торгового посередника, що займається оптовою торгівлею. Тоді роздрібний ринок – це сегмент ринку (сукупність зв'язаних вершин графа), на якому електроенергія купується з метою особистого споживання (непрофесійного використання), а роздрібна торгівля – це метод розповсюдження товарної продукції ринку між тими, хто купує її саме з цією метою. Оскільки часом важко провести фізичну межу між оптовим і роздрібним ринками, роздрібний торговець (РТ) виконуватиме роль торгового посередника, який може займатися як оптовою, так і роздрібною торгівлею. Первинними продавцями (ППр) і кінцевими покупцями (КПк) товарної продукції ринку будуть його суб'єкти, які не є торговими посередниками, а тільки виробляють її або споживають. Функції оператора ринку (ОР) може виконувати ППр або торговий посередник.

На фінансовій мові граф комерційної підсистеми буде відображенням її контрактної підсистеми, його спрямовані гілки будуть позначати різні комерційні угоди, що укладаються й реалізуються на ринку фізичного товару (спотовий ринок плюс ринок фізичних договорів) і ринку фінансових контрактів (деривативів). Це дозволить в одній статичній моделі одночасно відобразити як спотовий, так і контрактні ринки електроенергії, рознесені у часі. Множина безперервних гілок графа буде утворювати ринок фізичного товару, множина розривних гілок графа – ринок фінансових контрактів. Безперервні гілки графа можуть бути як односпрямованими, так і двоспрямованими. При цьому кожна безперервна гілка графа у прямому напрямку стрілки буде показувати передачу або сприяння передачі права власності на електроенергію, у зворотному напрямку – грошовий потік від її реалізації. Розривні гілки графа будуть двоспрямованими, оскільки відобразатимуть укладені фінансові контракти, за якими не передбачається (доволі рідко відбувається) фізична поставка товару, та які завершуються взаємними фінансовими розрахунками між учасниками угоди за її результатами. Якщо сегмент ринку є децентралізованим, то учасники угоди (вершини графа) з'єднуються між собою безпосередньо відповідною гілкою графа. Якщо сегмент ринку є централізованим, то учасники угоди (вершини графа) з'єднуються між собою опосередковано двома гілками графа через вузол оператора ринку фізичного товару (ОР-ФізТов) або вузол оператора ринку фінансових контрактів (ОР-ФінКон).

Реформування електроенергетики відбувається поетапно, і на кожному з етапів структурна модель комерційної підсистеми збільшує свій граф за кількістю вершин і гілок. За оптово-роздрібною монополією єдиний первинний продавець (на графі рис.4,а вузол ППр) укладає фізичні контракти з усіма кінцевими покупцями електроенергії (на графі рис.4,а вершини КПк). У такій моделі торгівля на оптовому і роздрібному ринках здійснюється без участі будь-яких торгових посередників (так званий «прямий маркетинг»). Але на етапі реструктуризації запроваджується опосередкований маркетинг, коли в результаті вертикальної дезінтеграції (рис.4,б) між вершиною ППр і вершинами КПк з'являється один проміжний вузол РТ новоствореного роздрібною торговця, який приймає на себе право власності на електроенергію, купуючи і продаючи її за фізичними контрактами. Якщо до вертикальної дезінтеграції галузі додати горизонтальну, то структурній моделі комерційної підсистеми буде відповідати граф рис.4,в, який можна розглядати як поєднання декількох графів рис.4,б за наявності єдиного ППр

(вихідний вузол) на оптовому ринку й існування декількох територіально закріплених за кожним РТ (проміжні вузли) роздрібних ринків електроенергії. На етапі реструктуризації функції ОР виконує ППр.

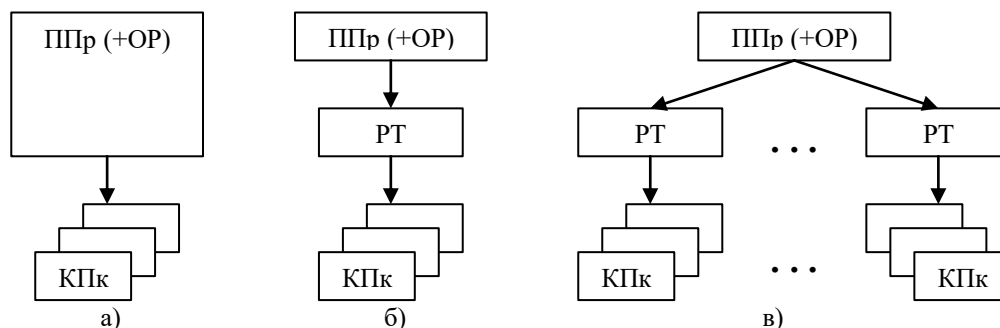


Рисунок 4 – Реструктуризація електроенергетики за структурними моделями комерційної підсистеми

Структурні моделі комерційної підсистеми за вертикальної й горизонтальної дезінтеграції (графи на рис. 4,б-в) є однорівневими завдяки існуванню тільки одного торгового посередника (проміжного вузла) між ППр і кожним КПк. На етапі демонополізації між первинними продавцями електроенергії запроваджується конкуренція, що робить структурну модель підсистеми дворівневою. За оптової моносонії граф структурної моделі комерційної підсистеми (рис. 5) має між вершинами конкуруючих ППр і вузлами всіх РТ один проміжний вузол ОТ новоствореного оптового торговця. Цей торговий посередник, виконуючи функції ОР, укладає фізичні контракти з усіма конкуруючими ППр та усіма РТ. При цьому він, купуючи, не бере на себе, а лише сприяє передачі права власності на електроенергію, продаючи її всім РТ, кожен з яких, навпаки, бере на себе право власності, продаючи електроенергію своїм КПк. Як наслідок, вершину будь-якого ППр можна опосередковано з'єднати з вершиною будь-якого КПк через два послідовно зв'язані проміжні вузли торгових посередників ОТ й РТ.

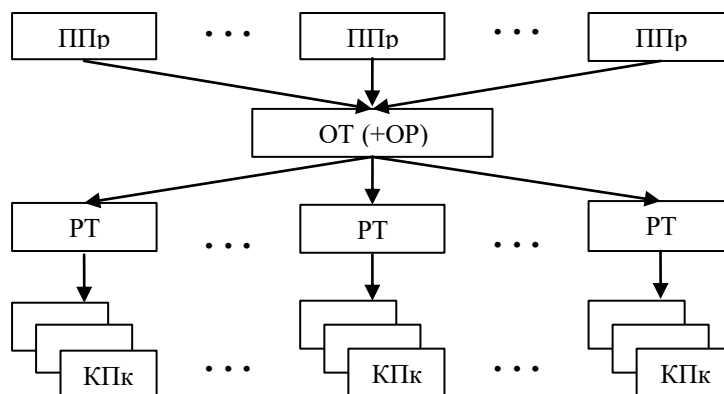


Рисунок 5 – Демонополізація електроенергетики за структурною моделлю комерційної підсистеми

За розглянутих неконкурентних моделей товарного ринку електроенергії усі структурні моделі комерційної підсистеми є одноканальними за централізованого контрактного ринку фізичного товару, на якому покупці можуть купувати електроенергію лише у територіально закріпленого за ними продавця. І тільки на етапі демонополізації оптовий торговець отримує делеговано право вибору на конкурентній основі продавців електроенергії. Але економічна ефективність конкурентного середовища може досягти свого найвищого рівня, якщо конкуренція існує не лише на стадії виробництва, але й на стадії розповсюдження електроенергії. Це зазвичай потребує зростання кількості учасників конкурентного середовища, чого можна досягти наданням права вибору покупцям продавців товарної продукції ринку. Тому лібералізація іде шляхом децентралізації централізованої за неконкурентних моделей системи ринку електричної енергії, внаслідок чого структурна модель комерційної підсистеми стає багатоканальною, збільшуючи кількість внутрісистемних зв'язків (гілок графа за існуючих вершин). Сказане означає, що в системі ринку електроенергії відбувається фазовий перехід, внаслідок якого поведінка системи зазнає якісних змін. У структурній моделі комерційної підсистеми з'являються децентралізовані ринки з одночасним збільшенням загальної кількості самих ринків, у тому числі за

рахунок появи спотового ринку. Останній визначає економічну вартість електроенергії, але її спотова ціна є мінливою у часі, оскільки зміни попиту і пропозиції часом важко прогнозувати. Механізми страхування майбутніх доходів суб'єктів ринку від різких цінових коливань спотового ринку пропонують контрактний ринок шляхом укладання фізичних і фінансових контрактів [5].

На початку лібералізації усі РТ отримують право вибору купувати електроенергію децентралізовано напряму у ППр, укладаючи самопризначені фізичні контракти, або купувати її централізовано через ОР-ФізТов на ринку фізичних контрактів і спотовому ринку. На структурному графі комерційної підсистеми це позначається збільшенням кількості гілок і вузлів, які до того були вершинами. Як наслідок, на етапі лібералізації структурні графи стають неплоскими на відміну від плоских графів, будованих нами раніше. Для наочності неплоскі графи будемо представляти у згорнутому вигляді через агреговані однойменні вершини й гілки, за рахунок чого їх зображення ще можуть залишатись плоскими. Сказане використано при побудові на рис.6,а графа структурної моделі комерційної підсистеми за моделі оптової конкуренції. На ньому децентралізований оптовий ринок фізичних контрактів утворюють безпосередньо з'єднані між собою односпрямованою безперервною гілкою вузли ППр й РТ. На централізованому оптовому ринку фізичних контрактів вузли ППр та РТ опосередковано з'єднуються між собою через новостворений вузол ОР-ФізТов односпрямованими безперервними гілками. Опосередковане з'єднання згаданих вузлів через вузол ОР-ФізТов двоспрямованими безперервними гілками утворює спотовий ринок фізичного товару. Використовуючи механізми страхування, усі ППр і РТ можуть децентралізовано укладати між собою самопризначені фінансові контракти, що позначено двоспрямованою розривною гілкою, яка з'єднує зазначені вузли. Також вони можуть централізовано укладати фінансові контракти, які позначено двоспрямованими розривними гілками, що з'єднують вузли ППр і РТ із новоствореною вершиною ОР-ФінКон.

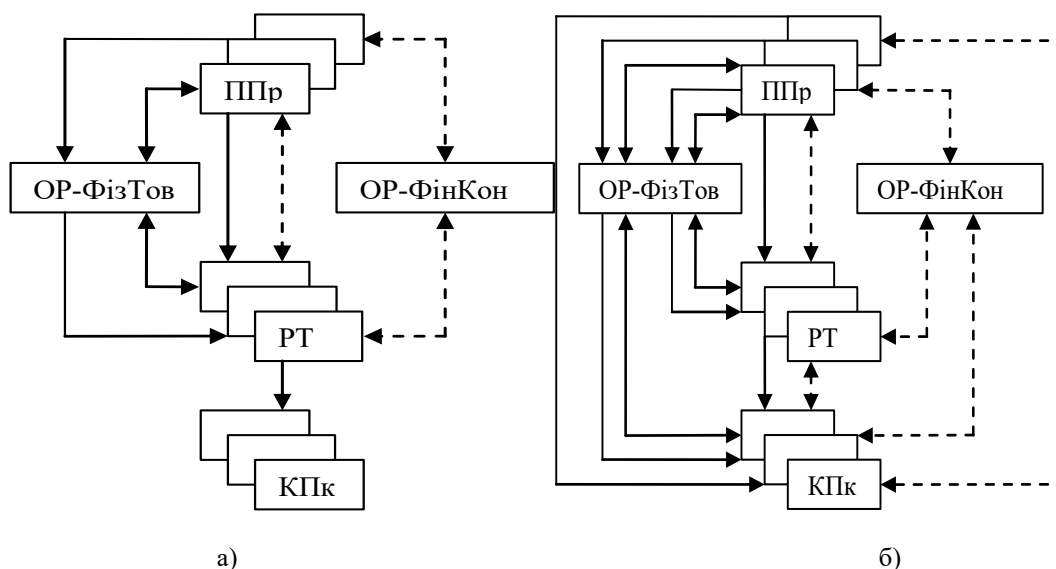


Рисунок 6 – Лібералізація електроенергетики за структурними моделями комерційної підсистеми

На завершення лібералізації, коли запроваджується модель роздрібною конкуренції, право вибору продавця електроенергії отримують усі КПк. Відповідно графа структурної моделі комерційної підсистеми (рис.6,б) КПк можуть виходити на ті ж самі ринки фізичного товару й фінансових контрактів, що й усі РТ, перетворюючи тим самим усі вершини графа на вузли. Але КПк отримують більш широке право вибору, оскільки усі РТ входять до переліку продавців за вибором КПк. Якщо знову звернутися до графів, побудованих на рис.6,а-б, то можна побачити, що кожен граф має ліву і праву частини, що відповідно відображають ринок фізичного товару і ринок фінансових контрактів. На початку лібералізації цей розподіл завдяки надання права вибору продавця існує тільки на оптовому ринку, по завершенню лібералізації – як на оптовому, так і роздрібному ринках електроенергії. Слід додати, що кількість різновидів ринків у побудованих за конкурентних моделей товарного ринку електроенергії структурних моделях комерційної підсистеми є необхідною й достатньою, хоча необхідна їх кількість може бути меншою [5].

Як бачимо, комерційна підсистема ринку електроенергії являє собою певне економічне середовище, яке не може бути обмежене ні у просторі, ні у часі та може існувати нескінченно довго і розвиватись екстенсивно, розширюючи простір системи ринку електричної енергії.

Об'єднання структурних графів підсистем у мультиграфи системи ринку електричної енергії. Побудовані на різних мовах структурні моделі технологічної і комерційної підсистем є доповнюваними відображеннями однієї і тієї самої структурної моделі системи ринку електроенергії. Це припускає існування між топологією й елементами структурних графів певної відповідності, яка б дозволяла об'єднувати зазначені графи й отримувати структурні мультиграфи системи ринку електричної енергії.

Так, порівнюючи графи структурних моделей технологічної (рис. 2-3) і комерційної (рис. 4-5) підсистем, можна побачити, що за неконкурентних моделей товарного ринку електроенергії структурні графи обох підсистем є плоскими й однаковими за топологією. Цьому може суперечити вертикально диференційована галузь, за якої суб'єкти технологічної підсистеми розділені за виробничими стадіями процесу електропостачання. Але ця невідповідність пояснювана, оскільки саме на цій стадії реструктуризації відбувається розмежування функцій ОР, який залишається у складі ППр, і функцій СО, який відокремлюється у складі ПЕКо. Оскільки ПЕКо не є суб'єктом товарного ринку електроенергії (див. табл.), це збільшує кількість вершин і гілок графа технологічної підсистеми. На етапі демонополізації, коли завершується горизонтальна дезінтеграція галузі й запроваджується конкуренція між ППр, функції ОР переходять до новоствореного ОТ, що знову робить графи обох підсистем (див. рис.2 і рис.5) однаковими за топологією. Хоча ПЕКо (+СО) й ОТ (+ОР) є суб'єктами різних системоутворюючих ринків, їх вузли будуть розташовані на одному рівні, якщо порівняти обидва графи.

На завершення демонополізації плоский граф структурної моделі технологічної підсистеми досягає свого допорогового рівня за кількістю внутрішньогалузевих зв'язків, залишаючись далі інваріантним за цим показником. Комерційна підсистема, навпаки, у процесі подальшого реформування галузі, розширюючи простір систему ринку електроенергії, змінює свій структурний граф з плоского на неплоский, одночасно перетворюючи всі вершини графа на вузли. Також під час лібералізації у складі комерційної підсистеми відбувається розмежування функцій ОР за функціями ринку фізичного товару і ринку фінансових контрактів, що збільшує кількість вузлів і гілок графа. Як наслідок, графи структурних моделей технологічної (рис.2) і комерційної (рис.6,а-б) підсистем на етапі лібералізації за топологією не співпадають.

У той же час, між елементами (вершинами графів) обох підсистем зберігається певна відповідність. Так, наприклад, суб'єкти технологічної і комерційної підсистем одночасно можуть бути суб'єктами товарного ринку електроенергії, маючи різні назви на різних мовах відповідно виконуваних ними функцій у підсистемах. Порівнюючи позначення у прямокутниках вершин, бачимо, що ГЕКо, які також можуть бути у складі ГПР-ЕКо або ГП-ЕКо, завжди є первинними продавцями електроенергії, споживачі електроенергії – її КПК. За неконкурентних моделей РЕКо одночасно виконують функції РТ, за конкурентних моделей ці функції розмежовуються між спеціалізованими компаніями. Існуючі РЕКо залишаються суто мережевими компаніями як суб'єкти ринку послуг передавання і розподілення електроенергії. Функції РТ переходять до новостворених торгових посередників, які будуть суб'єктами товарного ринку електроенергії. РЕКо залишаються вузлами графа технологічної підсистеми, РТ – вузлами графа комерційної підсистеми. Кількість РТ зазвичай перевищує кількість РЕКо.

Вищесказане дозволяє об'єднувати структурні графи технологічної і комерційної підсистем та створювати структурні мультиграфи системи ринку електричної енергії. Вершини мультиграфа одночасно можуть належати різним підсистемам, і це потребуватиме використання паралельних спрямованих гілок, що відображатимуть різні за природою внутрісистемні зв'язки. Так, наприклад, на рис.7 об'єднано структурні графи обох підсистем для наочності саме на етапі демонополізації (рис.2 і рис.5), щоб побудований мультиграф ще був плоским. Якщо вершина цього мультиграфа є елементом обох підсистем, то в її прямокутнику через дріб скорочено позначено дві назви, що відповідають технологічній і комерційній підсистемам. Якщо вершина мультиграфа є елементом тільки однієї підсистеми, то в її прямокутнику позначено тільки одну назву за підсистемою. Вершини такого мультиграфа мають щонайменш дві вхідні та/або дві вихідні гілки. Безперервні односпрямовані гілки мультиграфа відображають товарний рух електроенергії. Розривні односпрямовані гілки мультиграфа утворюють централізований ринок фізичних контрактів. Мультиграф можна розширити, додавши на рис.7 безперервні двоспрямовані гілки, що відображають внутрісистемні зв'язки СО, що мають іншу природу, з елементами обох підсистем, чого неможливо було зробити на графах рис.1-5.

Якщо системний оператор на етапі демонополізації виходить із складу ПЕКo, відокремлюючись у НСО, структурний мультиграф на рис.7 одразу стає неплоским навіть за неконкурентної моделі товарного ринку електроенергії.

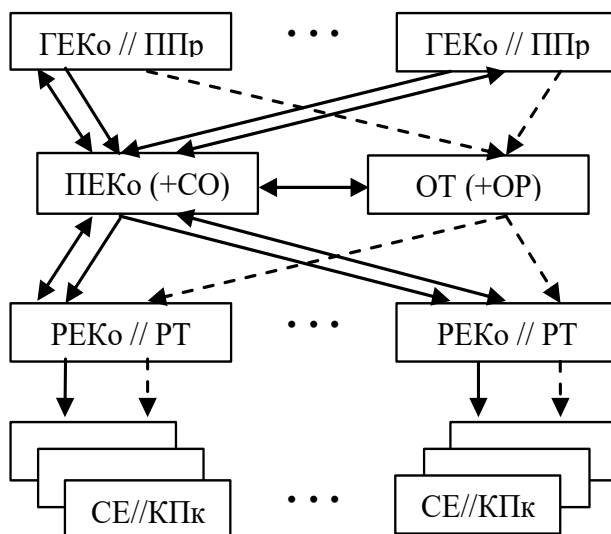


Рисунок 7 – Структурний мультиграф системи ринку електроенергії на етапі демонополізації

Слід також додати, що за конкурентних моделей товарного ринку електроенергії структурні мультиграфи системи ринку електричної енергії завжди будуть неплоскими та насиченими зв'язками завдяки фазовому переходу, що відбувається в системі на етапі лібералізації.

Висновки.

1. Структурні моделі технологічної і комерційної підсистем, побудовані у вигляді орієнтованих графів, виступають доповнюваними відображеннями структурної моделі системи ринку електроенергії. У циклі відтворення технологічна підсистема підтримує функції виробництва і споживання, комерційна підсистема – функції розподілу й обміну. Технологічна підсистема не обмежена у часі, але обмежена у просторі та може розвиватись інтенсивно. Комерційна підсистема, не маючи просторових і часових обмежень, може розвиватись екстенсивно.

2. На технічній мові технологічна підсистема є об'єктною системою із внутрісистемними зв'язками у формі фізичної взаємодії, на виробничій мові – суб'єктною системою із системними зв'язками у формі внутрішньогалузевої взаємодії. Об'єктна й суб'єктна структурні моделі є симетричними відображеннями структурної моделі технологічної підсистеми ринку електроенергії. При цьому об'єктне відображення є інваріантним, незмінним за будь-яких структурних перетворень галузі, суб'єктне відображення – варіантним, «чутливим» до внутрішньогалузевих змін.

3. Вершини структурного графа комерційної підсистеми відображають на торговій мові підсистему розповсюдження, позначаючи суб'єктів оптового і роздрібного ринків. Спрямовані гілки структурного графа комерційної підсистеми на фінансовій мові відображають контрактну підсистему, позначаючи угоди ринку фізичного товару і ринку фінансових контрактів. Разом вершини й спрямовані гілки утворюють орієнтований граф структурної моделі комерційної підсистеми ринку електроенергії.

4. На етапах реструктуризації й демонополізації структурні графи обох підсистем за неконкурентних моделей товарного ринку електроенергії є плоскими й однаковими за топологією. На етапі демонополізації граф структурної моделі технологічної підсистеми досягає свого допорогового рівня за кількістю внутрісистемних зв'язків. Комерційна підсистема на етапі лібералізації внаслідок фазового переходу в системі ринку електроенергії змінює свій граф з плоского за неконкурентних моделей на неплоский за конкурентних моделей товарного ринку електроенергії, перетворюючи усі вершини графа на вузли.

5. Існуюча відповідність між топологією й елементами структурних графів технологічної і комерційної підсистеми дозволяє об'єднувати їх структурні моделі, створюючи тим самим мультиграфи структурної моделі системи ринку електричної енергії.

Список використаної літератури.

1. Стрелков М.Т. Статична модель складу системи ринку електроенергії / М.Т. Стрелков // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2015. – №3. – С.117-121.
2. Стрелков М.Т. Складові інфраструктури системи енергоринку: створювані потоки, реалізовані принципи, розв'язувані задачі / М.Т. Стрелков // *Енергетика та електрифікація*. – 2014. – №4. – С.51-57.
3. Стрелков М.Т. Реструктуризація галузевої інфраструктури ринку електричної енергії / М.Т. Стрелков // *Енергетика та електрифікація*. – 2007. – №9. – С.3-8.
4. Стрелков М.Т. Розвиток природної монополії в електроенергетиці: змінні, індекси, стійкість, стадії / М.Т. Стрелков // *Енергетика та електрифікація*. – 2014. – №12. – С.32-38.
5. Стрелков М.Т. Лібералізація в системі ринку електричної енергії / М.Т. Стрелков // *Енергетика та електрифікація*. – 2012. – №10. – С.10-17.
6. Стрелков М.Т. Маркетингові питання реструктуризації електроенергетики / М.Т. Стрелков // *Електричні мережі та системи*. – 2004. – №5-6. – С.100-104.

M. Strelkov, PhD. Sc. Sciences

**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
STATIC MODEL OF ELECTRICITY MARKET SYSTEM STRUCTURE**

The aim of the article is to conduct the structural analysis and construct the static structural model of the electricity market system. Since the components responsible for the construction of the electricity market system are the technological and commercial subsystems, their structural models are presented in the form of directed graphs according to the stages of reforming the electricity sector and imposed models of the commodity electricity market. The structural model of the technological subsystem is built on technical and industrial languages in the form of planar graphs of objective and subjective structural models. The structural model of the commercial subsystem is built on trade and finance languages in the form of planar graphs for non-competitive models and non-planar graphs for competitive models of the commodity electricity market. It is shown that the built structural models of the technological and commercial subsystems can be combined, thereby creating multigraphs of the structural model of the electricity market system.

Keywords: electricity sector, electricity market, market system, system structure, structure model, static model.

References

1. Strelkov M.T. Static model of electricity market system composition / M.T. Strelkov // *Power engineering: economics, technique, ecology*. – 2015. – №3. – С.117-123.
2. Strelkov M.T. Infrastructure components of electricity market system: created flows, implemented principles, solved problems / M.T. Strelkov // *Energy and electrification*. – 2014. – №4. – С.51-57.
3. Strelkov M.T. Restructuring the industrial infrastructure of electricity market / M.T. Strelkov // *Energy and electrification*. – 2007. – №9. – С.3-8.
4. Strelkov M.T. Natural monopoly development in electricity industry: variables, indexes, sustainability, stages / M.T. Strelkov // *Energy and electrification*. – 2014. – №12. – С.32-38.
5. Strelkov M.T. Liberalization in system of electricity market / M.T. Strelkov // *Energy and electrification*. – 2012. – №10. – С.10-17.
6. Strelkov M.T. Marketing questions of electric industry restructuring / M.T. Strelkov // *Electrical networks and systems*. – 2004. – №5-6. – С.100-104.

УДК 621.311.16

М.Т. Стрелков, канд. техн. наук., ст. науч. сотр.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ РЫНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Целью статьи является проведение структурного анализа и построение статической структурной модели системы рынка электроэнергетики. Поскольку составляющими, ответственными за построение системы рынка электроэнергетики, выступают технологическая и коммерческая подсистемы, их структурные модели представлены в виде ориентированных графов согласно этапам реформирования электроэнергетики и внедряемым моделям товарного рынка электроэнергетики. Структурная модель технологической подсистемы построена на техническом и производственном языке в виде плоских графов объектной и субъектной структурных моделей. Структурная модель коммерческой подсистемы построена на торговом и финансовом языке в виде плоских графов для неконкурентных моделей и неплоских графов для конкурентных моделей товарного рынка электроэнергетики. Показано, что построенные структурные модели технологической и коммерческой подсистем можно объединять, создавая тем самым мультиграфы структурной модели системы рынка электроэнергетики.

Ключевые слова: электроэнергетика, рынок электроэнергетики, система рынка, структура системы, модель структуры, статическая модель.

Надійшла 10.12.2016

Received 10.12.2016