

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.76>
УДК [001.5:001.8:65.012](075)

Системний аналіз в парадигмі структури наукових досліджень в сфері електропостачання

Сінчук Олег Миколайович¹⁾

Д-р техніч. наук, професор каф. Електричної інженерії
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9078-7315>; sinchuk@knu.edu.ua. Scopus Author ID: AAE-5180-2021

Берідзе Тетяна Михайлівна¹⁾

Д-р економічних наук, професор каф. Електричної інженерії
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2509-3242>; etridzet2016@gmail.com. Scopus Author ID: L-9618-2018

Сінчук Ігор Олегович¹⁾

Канд. техніч. наук, доцент, каф. Електричної інженерії
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7702-4030>; olegovich.s@knu.edu.ua. Scopus Author ID: AAU-5471-2020

Яловий Олександр Олександрович¹⁾

Аспірант кафедри Електричної інженерії
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1356-2987>; eigroup@knu.edu.ua

¹⁾ Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича, 11. Кривий Ріг, 50027, Україна

АНОТАЦІЯ

Одним із основних напрямів дослідження систем є системний аналіз та системний підхід. Теорія систем, як підрозділ є одним з основних її понять та поряд з теорією моделей, теорією управління, теорією інформації відноситься до методологічної бази в наукових дослідженнях. Актуальним є вивчення законів та принципів, за допомогою яких можливе ефективне дослідження структурної трансформації організації досліджень. На практиці системний підхід – це системне охоплення, системне подання, системна орієнтація досліджень. Системне охоплення вимагає розгляду проблеми в різних аспектах з різних позицій. Системне подання досягається шляхом побудови єдиної моделі, здатної замінювати реальний об'єкт і надавати актуальну інформацію про об'єкт, який моделюється. Системна організація дослідження означає неперервне планування й управління розробкою за допомогою методів і засобів координації робіт. Розв'язання складних проблем з позицій системного підходу підпорядковане певній послідовності дій. Найважливіші етапи цього процесу передбачають: ідентифікацію проблеми; внутрішній аналіз проблеми; зовнішній аналіз проблеми; ідентифікацію системи: цілі, обмеження, тенденції, фактори, властивості; синтез моделі; аналіз поведінки моделі - імітація роботи системи оптимізацію системи. Планування оптимізаційного експерименту, ідентифікація експериментальної моделі. Аналіз результатів експерименту з моделлю. Інтерпретація результатів стосовно системи, що вирішує проблему. Реалізація рішення. У рамках системного підходу задачі аналізу й синтезу взаємопов'язані, вони чергуються із заданою регулярністю і характеризують дві сторони єдиного циклу процесу дослідження. Описаний цикл вирішення проблеми відноситься як до кількісного, так і до якісного системного підходу. При цьому ідентифікація та імітація реалізуються на інтуїтивному, евристичному рівні. Основним недоліком якісного підходу є те, що протинтуїтивна поведінка, яка проявляється у складних соціально-економічних системах, упускається з виду і не аналізується. Перевагою якісного підходу перед кількісним є суттєва економія часу і коштів на проведення досліджень. Сукупність методологічних засобів, що використовуються для підготовки й обґрунтування рішень стосовно складних, наукового, технічного характеру містить системний аналіз. Системний аналіз визначають як сукупність методів дослідження складних об'єктів шляхом подання їх у вигляді систем і подальшого аналізу таких систем. Порядок етапів системного аналізу включає: постановку задачі (вибір об'єкта дослідження, визначення мети і критеріїв його вивчення); виділення й структуризацію (або декомпозицію) системи, яка досліджується, тобто поділ її на підсистеми, котрі відносно чітко описуються; створення математичної моделі системи. У цьому полягає відмінність системного аналізу від локального підходу, який полягає у вивченні структури й функціональних особливостей автономних, окремо взятих елементів системи. Неможливість повністю охопити всі сторони, зв'язки й „опосередкування” дозволяє в ході проведення системного аналізу, з одного боку, прагнути максимальної повноти опису, з другого – здійснювати розумне спрощення об'єкту. Це особливо актуально та доцільно в сфері досліджень процесів в системах електропостачання.

Ключові слова: системний аналіз; системний підхід; методологія; принципи; графоаналітичні методи; граф-моделювання; управління; електропостачання

Метою роботи є дослідження методології застосування системного підходу в наукових дослідженнях щодо можливості та доцільності їх імплементації в сферу аналізу електропостачання.

Сучасний етап розвитку технічних систем, в тому числі електротехнічних, характеризується широким застосуванням системного підходу для їх вивчення. Системний підхід є комплексним вивченням складних технічних систем як єдиного цілого з позицій

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk>)

системного аналізу. У свою чергу, системний аналіз – це методологія дослідження будь-яких об'єктів за допомогою представлення їх як системи і аналізу цих систем. Загальною методологічною основою вивчення складних систем є використання дедуктивного методу вивчення моделей об'єктів. У зв'язку з цим, основним поняттям при науковому вивченні будь-яких об'єктів служить модель об'єкту, що представляє спрощений опис або імітацію структури об'єкту, процесу функціонування (поведінки) об'єкту у взаємодії з навколишнім середовищем. Таким чином, будь-який кількісний опис об'єкту, що є, природно, неповним, доцільно прийняти як складову процесу моделювання, тобто описи моделі, але не об'єкту. При описі і дослідженні об'єкту важливо розрізняти поняття елементу і системи. Будь-який об'єкт функціонує в середовищі. Навколишнє середовище складають чинники, які являються зовнішніми по відношенню до системи і роблять на неї істотний вплив.

Якщо модель об'єкту задається тільки описом його поведінки в навколишньому середовищі, то подібну модель називатимемо елементом системи. Задаючи об'єкт у вигляді елементу системи, ми тим самим абстрагуємося від внутрішніх процесів, що протікають в системі. При повнішому опису об'єкту (проникнення в його структуру і процеси) модель інтерпретується як система. Це в достатній мірі характеризує доцільність такого підходу для аналізу процесів в таких складних для математичного опису систем як системи електропостачання.

Історія системного підходу розвивалась, перш за все, з необхідністю розробки методології дослідження складних (великих) систем, опис яких виявився неможливим на мові будь-якої конкретної математичної теорії. Загальна теорія систем передбачає вироблення загальних, методологічних принципів вивчення систем.

У теорії систем можна виділити наступні основні задачі:

- розробка єдиного формалізованого методу опису систем будь-якої природи як цілісного утворення;
- побудова узагальнених моделей систем і процесів їх функціонування;
- вивчення внутрішньої організації систем на рівні структури цілей, задач і функцій системи;
- дослідження інформаційних, енергетичних і матеріальних потоків, що протікають в системі;
- дослідження процесів поведінки і управління;
- встановлення властивостей і характеристик системи.

Перераховані задачі є виключно системними і не розроблялися класичними науками до розвитку системних концентрацій. Безуспішність спроб визначення системи на вербальному рівні, мабуть, обумовлена складністю і різноманіттю прояву властивостей системи. Тому в даний час спостерігається становлення двох концепцій у визначенні системи.

Перша концепція виходить з повного визначення системи на основі переліку її найзагальніших, істотніших властивостей.

Друга – з широкого тлумачення поняття системи на такому рівні абстракції, який дозволив би охопити всю різноманітність існуючих систем. Узагальнити різні визначення поняття «абстрактної системи» можна таким чином [1]: хай Z – деяка властивість об'єкту; M – деяка безліч становлячих його предметів; R – відношення на множині M . Якщо на M виявиться деяке відношення R , то це зовсім не означає, що дана множина утворює систему. Предмети $m \in M$ утворюють систему лише в тому випадку, якщо на m виконуватиметься певне відношення, що цікавить нас. Це означає, що відношення R повинне володіти якоюсь певною властивістю, що цікавить нас. Згідно Л. Берталанфі – це відношення, яке є зв'язком, в інших випадках – це відношення порядку. Отже, множина утворює систему у тому випадку, коли на ньому реалізується наперед дане відношення R з фіксованими властивостями P . Використовуючи властивість як парне відношення, М. Месаровіч дав ще коротше

визначення: система – це відношення або власна підмножина декартових добутків на M [2]. Згідно вищесказаному цілком природно визначити систему як відношення на мові теорії множин (об'єктів) M_i , утворюючих систему, і визначені на цьому сімействі множин відносини R_j , кожне з яких є підмножиною декартові твори множин M_i , тобто $R \subseteq M_1 \times \dots \times M_n$.

Різноманітність можливих об'єктів і видів відносин, що зустрічаються в реальних системах, обумовлює необхідність введення деякої універсальної (емпіричної) системи з відносинами. Назвемо системою з відносинами кортеж $S = \langle M_1, \dots, M_n; R_1, \dots, R_m \rangle$, компонентами якого є сімейство безлічі об'єктів $M_1, \dots, M_n$ і сімейство безлічі відносин $R_1, \dots, R_m$. Якщо кортеж має одне відношення R , то модель відображає яку-небудь одну сторону, один аспект системи, тоді $S = \langle M, R \rangle$. Складність систем не дозволяє дати повного їх опису, тому система представляється у вигляді моделі. Моделлю системи називається опис її в термінах операцій, що зв'язують об'єкти (елементи) системи, а моделюванням – процес побудови і вивчення моделі. Моделювання здійснюється на основі попереднього вивчення об'єкту, виділення його істотних характеристик (властивостей) з позицій мети дослідження і побудови вербальної і потім математичної моделі об'єкту і дослідження моделі. Математичну модель можна визначити як сукупність математичних об'єктів і відносин між ними. Моделі теорії систем мають слабку математичну структуру (не дають детального опису системи), але саме тому вони володіють тією спільністю, яка дозволяє дати опис складних систем, недоступних детальному математичному аналізу [3].

При виборі моделі істотним є визначення якості відображення властивостей системи у властивостях моделі, тобто адекватності моделі об'єкту. Адекватність моделі пов'язана з такими поняттями, як ізоморфізм і гомоморфізм. Модель називається ізоморфною, якщо її властивості тотожні властивостям реальної системи. Дві системи або їх моделі $\langle M; R_1, \dots, R_s \rangle$ і $\langle N; Q_1, \dots, Q_t \rangle$ ізоморфні, якщо вони подібні, тобто однакові число ($s = t$) і місцевість відносин (наприклад, $R(m_1, m_2)$ і $Q(n_1, n_2)$). Крім того, існує взаємно-однозначне відображення $\phi: M \rightarrow N$ таке, що якщо $n_i = \phi(m_i)$ і $n_j = \phi(m_j)$, то $m_i R m_j \Leftrightarrow n_i Q n_j$.

Взаємооднозначність припускає існування зворотного відображення $\phi^{-1}: N \rightarrow M$. Взаємооднозначність є дуже жорсткою умовою і унаслідок складності систем у багатьох випадках її неможливо реалізувати при побудові моделі [4]. Тому використовується спрощене моделювання – побудова гомоморфної або подібної моделі, для якої зберігається тільки умова однозначної відповідності.

Таким чином, побудова моделі включає два етапи. На першому етапі дослідник буде вербальну гомоморфну модель системи, тобто спрощений її опис, абстрагування, відвернення від неістотних для досягнення даної мети властивостей об'єкту. На другому етапі будується модель, ізоморфна раніше одержаній гомоморфній моделі. Ізоморфізм як відношення володіє властивостями рефлексії, симетричності і транзитивності і через це породжує клас ізоморфних моделей [5].

Модель може відображати внутрішню структуру об'єкту і відтворювати відносини між його елементами. У інших випадках, коли внутрішня структура об'єкту невідома, модель відображає лише його поведінку або функціонування, визначаючи залежності між входами і виходами системи. Така модель одержала назву «чорного ящика». Впливаючи на входи системи і спостерігаючи за її виходами, дослідник може побудувати рівняння зв'язку, що дає уявлення про процеси, що протікають в системі. Прикладом такого способу дослідження є побудова функції відгуку (регресійна модель) в плануванні експерименту.

Структуру систем можна класифікувати:

1. По числу рівнів розбиття системи на підсистеми. Розрізняють однорівневі і багаторівневі системи. Останні, у свою чергу, можуть бути однорідними (функції і характеристики підсистем одного рівня ідентичні) і неоднорідними.

2. За принципами управління і підлеглості. Розрізняють децентралізовані, централізовані і змішані системи.

3. По виконуваних функціях і цільовому призначенні. Розрізняють структуру систем планування, оперативного управління, інформаційних і ін. Залежно від постійності числа елементів системи з фіксованою (жорсткої) і змінною (керованої або змінної) структурами.

4. За принципами розбиття елементів системи на підсистеми. Розрізняють структуру систем, в яких елементи об'єднуються за функціональним і об'єктним принципами. При об'єктному розбитті виділяють структуру галузевих систем, регіональних і ін.

Для опису структур прийнято використовувати графічні моделі. Представлення системи у вигляді дерева підсистем засноване на понятті «роздільності» системи. Графічним відображенням декомпозиційної моделі системи (її структури) є граф деревного порядку (дерево). На рис. 1 зображений трирівневий граф.

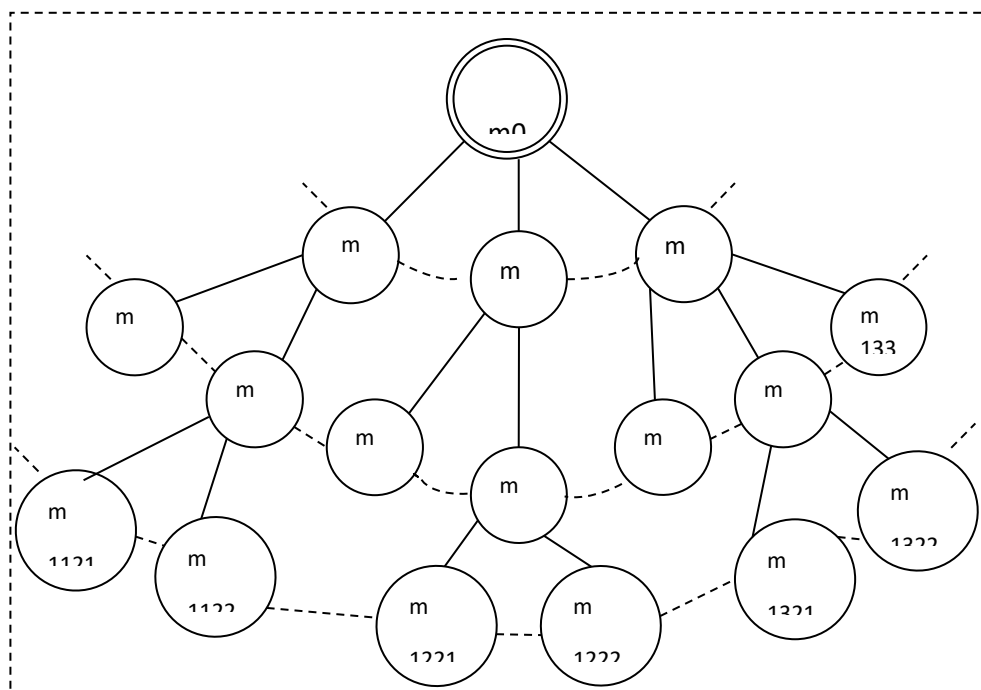


Рис. 1. Граф декомпозиції системи

Околиця коріння утворює перший рівень (вершини $m_{11}, \dots, m_{13}$). Околиці всіх вершин першого рівня утворюють другий рівень ($(m_{111}, m_{112}, \dots, m_{133})$ і т.п. В системі, математичною моделлю якої є дерево, коріння дерева ототожнюється з власне системою, як з чимось цілісним. Виділення першого рівня вершин означає виділення підсистем першого рівня, виділення другого рівня вершин – підсистем другого рівня і т.д.

У загальному вигляді декомпозиція систем може бути описана таким чином. Системі ставиться у відповідність деяка множина M^0 , наприклад, елементів об'єкту управління. Множина M^0 розбивається на підмножини M_i^1 , такі, що $\bigcup_{i \in I^0} M_i^1, M_{i_1}^1 \cap M_{i_2}^1 = \emptyset$ при $i_1 \neq i_2$, де I^0 – множина індексів підмножин [6].

Множині M^0 , і тим самим об'єкту управління в цілому, відповідає центральний орган (або блок управління), підмножинам M_i^1 – підсистеми (або органи, блоки) управління 1-го рівня. Так само виробляється розбиття підсистем управління 2-го рівня і т.д. На 1-у кроці кожна з підмножин M_i^l може бути розбита на підмножини і можуть бути сформовані органи управління $(l + 1)$ -го рівня. Коріння дерева відповідає при цьому множині M^0 , тобто, центральному органу управління.

Просторовий граф цілей і задач з логікою і/лі є найважливішим інструментом системного аналізу складних цілей, який дозволяє формалізувати процедуру декомпозиції цілей, виділити альтернативні варіанти досягнення цілей і, нарешті, знайти якнайкраще рішення на безлічі альтернатив.

Пошук якнайкращого рішення включає наступні етапи: виявлення на безлічі N несумісних варіантів; побудова площинних цільових графів сумісних варіантів рішень; аналіз ефективності досягнення цілей по кожному з варіантів і впорядкування варіантів по перевазі. Остання операція вимагає завдання критерію ефективності (оптимальності), який в загальному випадку може бути векторним.

Таким чином системність дає інструментарій для моделювання, отримання оптимальних рішень в процесах управління в технічних системах як систем електропостачання, що є складними динамічними щодо структури їх функціонування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Zadeh L. A. “From computing with numbers to computing with words – from manipulation of measurements to manipulation of perceptions”. In: *Azvine, B., Nauck, D.D., Azarmi, N. (eds) Intelligent Systems and Soft Computing. Lecture Notes in Computer Science*. 2000; 1804. DOI: https://doi.org/10.1007/10720181_1.
2. Терент'єва А. «Системний аналіз як метод ухвалення рішень». *Публічне урядування*. 2018. 5 (15): 255–264. DOI: <https://doi.org/10.32689/2617-2224-2018-15-5-255-264>.
3. Тимчак В. «Системний аналіз та сучасні методи конфліктів в менеджменті». *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2025; 340 (2): 274–277. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-340-44> с.
4. Ленчевський Є. А., Годун О. В. «Розроблення методики управління режимом навантаження об'єднаної енергосистеми України за умови використання нових принципів регулювання генеруючими потужностями атомних, сонячних і вітрових електростанцій». *Системні дослідження в енергетиці*. 2022. (2): 22–30. DOI: <https://doi.org/10.15407/srenergy2022.02.022c>.
5. Ko H., Lee S., Park Y., Choi A. “A Survey of Recommendation Systems: Recommendation Models, Techniques, and Application Fields”. *Electronics*. 2022; 11 (1): 141. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics11010141>.
6. Замулко А., Чернецька Ю., Прасол А. «Визначення граничних величин споживання електричної енергії засобами оптимізаційного моделювання». *Системні дослідження в енергетиці*. 2024; 1: 27–34. <https://doi.org/10.15407/srenergy2024.01.027>.

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.76>

UDC [001.5:001.8:65.012](075)

System analysis in the paradigm of the structure of scientific research in the sphere of electricity supply

Oleh M. Sinchuk¹⁾

Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9078-7315>; sinchuk@knu.edu.ua. Scopus Author ID: AAE-5180-2021

Tetiana M. Beridze¹⁾

Dr. of Economics, Professor of the Department of Electrical Engineering
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2509-3242>; beridzet2016@gmail.com. Scopus Author ID: L-9618-2018

Ihor O. Sinchuk¹⁾

PhD, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7702-4030>; olegovich.s@knu.edu.ua. Scopus Author ID: AAU-5471-2020

Oleksandr O. Yalovyi¹⁾

Postgraduate Student of the Department of Electrical Engineering

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1356-2987>; eigroup@knu.edu.ua

¹⁾ Kryvyi Rih National University, 11, Vitaliy Matusevycha Str. Kryvyi Rih, 50027, Ukraine

ABSTRACT

One of the main directions of systems research is systems analysis and systems approach. Systems theory, as a subdivision, is one of its main concepts and, along with model theory, management theory, and information theory, belongs to the methodological base in scientific research. The study of laws and principles, with the help of which it is possible to effectively study the structural transformation of the organization of research, is relevant. In practice, a systems approach is a systems approach, a systems approach, a systems orientation of research. Systems approach requires consideration of the problem in different aspects from different positions. Systems approach is achieved by building a single model that can replace a real object and provide relevant information about the object being modeled. Systems organization of research means continuous planning and development management using methods and means of coordinating work. Solving complex problems from the standpoint of a systems approach is subject to a certain sequence of actions. The most important stages of this process include: problem identification; internal analysis of the problem; external analysis of the problem; system identification: goals, constraints, trends, factors, properties; model synthesis; model behavior analysis – system operation simulation system optimization. Planning an optimization experiment, experimental model identification analysis of the results of an experiment with a model. Interpretation of the results in relation to the system solving the problem. Solution implementation. Within the framework of the system approach, the tasks of analysis and synthesis are interconnected, they alternate with a given regularity and characterize two sides of a single cycle of the research process. The described cycle of problem solving applies to both the quantitative and qualitative system approaches. In this case, identification and simulation are implemented at an intuitive, heuristic level. The main disadvantage of the qualitative approach is that counterintuitive behavior that manifests itself in complex socio-economic systems is overlooked and not analyzed. The advantage of the qualitative approach over the quantitative one is a significant saving of time and money for conducting research. The set of methodological tools used to prepare and justify decisions regarding complex, scientific, and technical issues includes system analysis. System analysis is defined as a set of methods for studying complex objects by presenting them in the form of systems and further analyzing such systems. The order of stages of system analysis includes: problem formulation (selection of the object of study, determination of the purpose and criteria for its study); isolation and structuring (or decomposition) of the system under study, i.e., its division into subsystems that are relatively clearly described; creation of a mathematical model of the system. This is the difference between system analysis and the local approach, which consists in studying the structure and functional features of autonomous, separately taken elements of the system. The inability to fully cover all sides, connections and "mediation" allows, during the system analysis, on the one hand, to strive for maximum completeness of the description, and on the other - to carry out a reasonable simplification of the object. This is especially relevant and appropriate in the field of research of processes in power supply systems.

Keywords: System analysis; system approach; methodology; principles; graph-analytical methods; graph; modeling; management; electricity supply