

УДК 004.5

О.Г. ДОДОНОВ*, О.В. НИКИФОРОВ**, В.Г. ПУТЯТИН*, В.О. ДОДОНОВ*

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ СИСТЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ У ТЕРМІНАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ КРОНА

*Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, м. Київ, Україна

**Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Україна

Анотація. Задача адаптації складних (організаційних) систем у процесі їх функціонування набуває все більшу актуальність по мірі розвитку обчислювальних засобів і засобів комунікації. На цей час поки ще не можна стверджувати те, що мета побудови формального методу управління процесами адаптації досягнута повною мірою. З аналізу наукової літератури зрозуміло, що представлені на сьогодні результати за методами і моделями адаптації поки ще не дозволяють розв'язувати задачі великої розмірності. Хоча саме з такою розмірністю систем доводиться мати справу при вирішенні практичних задач. У значній мірі у методах адаптації представлено експертні підходи та процедури попереднього аналітичного напрацювання. Центральною задачею методів адаптації є задача синтезу структури із встановленими властивостями. Відомі на цей час результати за даною проблематикою використовують онтологічний підхід та алгоритми на основі теорії алгебри систем, сходин множин і концептуального проектування. У статті розглянуто методологію теоретико-множинного та алгебраїчного синтезу топологій у вигляді тензорних перетворень електричних мереж Г. Крона як альтернативний варіант для підходів щодо синтезу структур, які є. На основі тензорних перетворень можна будувати формальні методи трансформації структур організаційних систем за умовою їх коректної інтерпретації в термінах електричних мереж. Представлений варіант встановлення відповідності між параметрами електричних мереж і кількісними характеристиками організаційних заходів. Як приклад, що ілюструє таку відповідність, приведена система навчальних закладів із підготовки фахівців для галузі економіки, яка інтерпретована як «вузлова» багатокотушкова електрична мережа з перехресними зв'язками між котушками. Таким параметрам електричної мережі, як сила току і різниця потенціалів в окремих котушках, їх адмітанси та адмітанси перехресних зв'язків мережі, поставлено у відповідність вирази щодо корисного ефекту, фінансових витрат, показників корисної віддачі з урахуванням взаємного впливу навчальних закладів. Отриманий вираз для тензора перетворення, і показана послідовність обчислень при трансформації структури системи підготовки фахівців із наступною оцінкою її характеристик.

Ключові слова: електрична мережа, структура, тензор перетворення, адаптація системи, перетворення структури, синтез топологій, алгебраїчний синтез, організаційна система, організаційні заходи.

Abstract. The task of adapting complex (organizational) systems in the process of their functioning is becoming increasingly relevant as computing tools and means of communication develop. At present, it is not yet possible to say that the goal of constructing a formal method for managing adaptation processes has been fully achieved. From the analysis of scientific literature, it follows that the results presented to date on adaptation methods and models do not yet allow solving large-scale problems. However, it is with this dimension of systems that we have to deal with when solving practical problems. To a large extent, adaptation methods represent expert approaches and procedures for preliminary analytical study. The central task of adaptation methods is the task of synthesizing a structure with given properties. Currently known results on this topic use an ontological approach and algorithms based on the theory of systems algebra, stages of sets, and conceptual design. The article discusses the methodology of set-theoretic and algebraic synthesis of topologies in the form of tensor transformations of electrical networks by G. Kron

as an alternative to existing approaches to the synthesis of structures. Based on tensor transformations, it is possible to construct formal methods for transforming the structures of organizational systems, provided that they are correctly interpreted in terms of electrical networks. A variant of establishing a correspondence between the parameters of electrical networks and the quantitative characteristics of organizational measures is presented. As an example illustrating this correspondence, a system of educational institutions for training specialists for the economic sector is given, which is interpreted as a «nodal» multi-coil electrical network with cross-connections between coils. Such parameters of the electrical network as current strength and potential difference in individual coils, their admittances and admittances of cross-connections of the network are matched with expressions for the beneficial effect, financial costs, and indicators of useful output, taking into account the mutual influence of educational institutions. An expression for the transformation tensor is obtained and the sequence of calculations when transforming the structure of the specialist training system with subsequent assessment of its characteristics is shown.

Keywords: electrical network, structure, transformation tensor, system adaptation, structure transformation, topology synthesis, algebraic synthesis, organizational system, organizational measures.

DOI: 10.34121/1028-9763-2024-2-89-106

1. Постановка проблеми

Проблема адаптації організаційного управління полягає у швидкій перебудові:

- структури і змісту контурів управління організаціями;
- планів заходів, що реалізуються.

Наприклад, організація здійснює випуск виробів визначеного виду. З метою підвищення ефективності застосування виробів, що випускаються, проведено заміну одного з агрегатів виробу. Заміна потребує внесення змін у технологічні карти виробничого процесу, регламенти роботи контролюючих органів, регламенти експлуатації виробу, а також нормативні документи. Дані зміни здійснюються шляхом корегування різного роду документації фахівцями відповідних підрозділів. Такий процес займає значний період часу (від кількох місяців та більше). Якщо ж внесення змін автоматизувати, добитися автоматичного перевидання документації, то період переналаштування (адаптації) процесу функціонування організації буде відбуватися в суттєво менші терміни.

Другий приклад. Для здійснення ситуаційного управління, при плануванні діяльності організації, складено кілька варіантів планів заходів. Умови, що змінилися, і результати попереднього періоду діяльності не дозволяють проводити подальше управління на основі жодного з раніше сформованих планів. Потрібний новий план. Процес перепланування триває неприйнятно довго у відношенні до поточної обстановки. Якщо синтезувати новий план на основі трансформації найбільш близького його варіанта, який створений раніше, або об'єднання кількох варіантів плану з наступною трансформацією під задані умови, час перебудови управління скоротиться.

І в першому, і другому випадку вирішення проблеми полягає у побудові відносно швидких алгоритмів перетворення існуючих або синтезу нових структурних зв'язків організаційної системи. Розробити такі алгоритми можна на підставі формальних методів синтезу структур із заданими властивостями.

Проблемою щодо створення такого формального методу та розробки на його основі алгоритму адаптації, що практично реалізується, є велика розмірність реальних процесів організаційного управління. Різноманіття зв'язків, багатовимірність керованих об'єктів значно утруднюють переведення задачі адаптації у формальну площину.

Методологія теоретико-множинного та алгебраїчного синтезу топологій у вигляді тензорних перетворень електричних мереж Γ . Крона надає можливість формалізованого уявлення задач синтезу структур складних (організаційних) систем. Однак успішність використання такого підходу суттєво залежить від коректності інтерпретації параметрів організації, системи організаційних заходів у термінах електричних багатокотушкових мереж.

Мета даної статті — показати принципову можливість використання методології тензорних перетворень електричних мереж для розв’язання задач трансформації структур організаційних заходів (систем організаційного управління), а також отримати інтерпретацію параметрів організаційної системи на прикладі системи підготовки фахівців для галузі економіки у вигляді вузлової електричної мережі.

2. Огляд наукових результатів щодо розробки методів і моделей адаптації

Методи і моделі, які використовуються за проблематикою синтезу структур, умовно можна поділити на кілька груп. Це:

- використання універсальних структур (універсалій) онтологій [1];
- апарат алгебри систем, який використовує булеві функції, обчислення предикатів і логічний вивід [2]. Даний підхід поєднує математичну логіку і такі алгебраїчні об’єкти, як групи, кільця (процеси), решета (структури);
- апарат сходин множин або родів структур [3], який зв’язний ще як концептуальне проектування [4]. Тут також використовується алгебра в сукупності з методами синтезу сходин множин та процедур математичної логіки;
- мультиагентні системи [5–6]. Процеси цілеспрямованої трансформації систем реалізуються за рахунок механізмів самоорганізації.

На сьогодні згадані групи методів і моделей представлено такими результатами.

У [1] запропоновано використовувати конфайнмент-моделі (КМ) для формування структури онтологій. Це дозволяє реалізувати системно-когнітивний підхід, який не сприйнятливий до особливостей формування галузевих (оригінальних) когнітивних моделей. При використанні КМ оригінальні онтології будуються за допомогою онтологічних універсалій, які моделюють систему відношень для будь-якої предметної області. За допомогою КМ можна реалізувати спосіб структурування знань на основі взаємозв’язаних когнітивних моделей спеціального виду, встановити норму на процес деталізації онтологій. Стверджується, що КМ забезпечують можливість для розвитку формальних методів трансформації структури онтологій. Однак змістовний бік продекларованих формальних методів автором не представлений та потребує подальшого напрацювання.

У [7] розглянуто застосування онтологічних моделей систем задач для побудови програмного забезпечення, яке здатне адаптуватися до змін предметної області. Задача, що є складовою онтології задач, авторами розглядається у вигляді структурованої проблемної ситуації з визначеним критерієм успішності та умовами її розв’язання. Онтологія предметної області представляється як управлінський процес, що складається з задач. Для побудови формальної онтологічної моделі використовується апарат алгебри систем [2]. Трансформація регламентів обробки даних реалізована у середовищі CLEPE (Conceptual level programming environment), де застосований апарат математичної логіки (логічного виведення). Адаптація програмного забезпечення автоматизованих систем управління (АСУ) здійснюється не виходячи за рамки заздалегідь сформованих онтологій задач та онтологій предметної області. Хоча, як стверджують автори [7], можливі постановка і рішення задач формального синтезу саме онтологій на основі запропонованого підходу. Тобто навчання АСУ у процесі функціонування.

У [8] представлений підхід щодо моделювання предметної області «забезпечення безпеки» на основі оригінальної методології концептуального аналізу та проектування [4]. Онтологія (фактор-структура) синтезується на основі використання концептуальної схеми родів структур. Авторами запропоновано використовувати такі концептуальні схеми родів структур для відношень безпеки. Це:

- а) абстрактні відношення безпеки;
- б) відношення безпеки ієрархічних суб’єктів, що трансформуються;
- в) відношення полісуб’єктного (кооперативного) управління безпекою;

г) відношення розповсюдження небезпеки, що симптоматично визначається.

У [9] запропоновано формальні правила перетворення тексту роду структури для реалізації операцій синтезу сходин множин. Тобто запропонована формальна мова для утворення родів структур відношень предметної області, яка розглядається.

У [10], на підставі використання процедури синтезу сходин множин, сформований довідник теоретико-системних конструктів сходин множин родів структур. Довідник містить конструкти для більш 200 класів систем, які представлені як статичні системи (статичні відношення, потоки, відкриті системи), та системи, що розвиваються (чи деградують). На підставі конструктів формуються концептуальні схеми родів структур.

Результати, представлені в [8–10], дозволяють реалізувати адаптацію систем управління. Перешкодою для подальшого впровадження отриманих результатів у практику організаційного управління є значна розмірність конститuant (фрагментів концептуальних схем), які відповідають вищим схожинам множин. Саме вищі сходини, як правило, мають практичне значення, але через їх значну розмірність ускладнена інтерпретація логічних виразів, які їм відповідні. Необхідна розробка спеціальної мови, яка дозволить відносно легко інтерпретувати і подавати результати формального утворення родів структур.

У [11] запропоновано механізми адаптації розподілених систем на основі використання принципу самоорганізації. Управління процесом трансформування зв'язків системи полягає в налаштуванні параметрів процесів обробки інформації та прийняття рішень для відповідних груп агентів (холонів). Здійснення самоорганізації агентів у рамках виконуваних задач реалізується на підставі онтологій функціонування за встановленим напрямом діяльності. Даний підхід дозволяє вирішувати задачі адаптації організаційного управління, не використовуючи складні процедури структурного синтезу. Однак вузьким місцем даного методу є формалізоване подання налаштування функціонування для визначених груп агентів мультиагентної системи так, щоб адекватно реалізовувався заданий критерій трансформації. Також функціонування агентів відбувається тільки в рамках раніше сформованих онтологій. Тобто при зміні концепції, умов організаційного управління, крім налаштування холонів, також має бути вирішена і задача адаптації онтологій.

Таким чином, представлені результати у тій чи іншій мірі вирішують задачу адаптації організаційного управління. При використанні конфайнмент-моделей [1] передбачається формувати структури, використовуючи універсальні фрагменти структур, але їх інтерпретація та формальний метод синтезу ще не доопрацьовані. При використанні операцій логічного виведення для трансформації онтології задач [7] реалізований алгоритм автоматичного формування структури процедурного регламенту, але тільки в рамках заздалегідь створеної онтології задач. Для адаптації системи управління під нову концепцію управління необхідно переналаштовувати базу даних, знову формувати онтології задач і предметної області. При використанні концептуального проектування [8–10] створений формальний метод синтезу структур із заданими властивостями, використовуючи правила формування родів структур відношень предметної області, що розглядається. Але велика розмірність логічних виразів, що при цьому отримуються, не дозволяє їх інтерпретувати у відношенні до конкретних задач. При використанні принципу самоорганізації активних агентів [11] можлива реалізація процедур адаптації або формування структур. Однак адекватність цих процедур буде визначатися тим, наскільки адекватно здійснено налаштування правил поведінки окремих агентів та їх груп.

Тобто задача формального синтезу структур із заданими властивостями на даний період часу не втратила своєї актуальності. Необхідні подальші наукові дослідження в даній області.

3. Інтерпретація систем організаційних заходів за допомогою багатокотушкових мереж

3.1. Тензорні перетворення електричних мереж Крона як спосіб побудови формальних процедур для синтезу структур

Як метод синтезу нових структур можна використати тензорне перетворення електричних мереж, що розроблене Габріелем Кроном [12]. У своїх працях Крон запропонував методологію теоретико-множинного та алгебраїчного синтезу топологій у вигляді тензорних перетворень.

Електричні мережі Крона, на відміну від інших, неелектричних мереж, зручно використовувати для формалізованого опису структурних внутрішньосистемних зв'язків різного роду. Зручність ця полягає у тому, що електрична мережа завжди оточена динамічним електромагнітним полем, яке створюється нею самою та яке розповсюджується до нескінченності за всіма напрямками. Використовуючи модель індукції та самоіндукції у гілках мережі, можна здійснювати кількісний опис внутрішньосистемних зв'язків для структури-мережі, що аналізується.

Крон вводить для опису електричних мереж два типи координат або два типи елементів (геометричних об'єктів): замкнуті елементи – контури і відкриті елементи – вузлові пари. Відповідно, опис поведінки електричних мереж пропонується в поняттях замкнутих контурів (контурна мережа) і вузлових пар (вузлова або відкрита мережа). Слід помітити, що поняття контуру та вузлової пари електричної мережі Крона аналогічні поняттям кільця і решітці в алгебрі систем [2].

Як осі систем координат, що вводяться, використовуються геометричні об'єкти мережі. Всі перетворення мереж, такі як розбивка на підмережі, з'єднання двох або більше мереж, перепідключення з'єднань геометричних об'єктів, здійснюються уздовж осей координат.

Формалізоване подання операцій перетворення електричних мереж здійснюється за допомогою або тензора перетворення (підключення), або тензора синтезу, в залежності від встановлених умов перетворення. За допомогою даних тензорів обчислюються параметри перетворених мереж: тензори імпедансів або адмітансів, вектори напруги та токів геометричних об'єктів. Це дозволяє здійснювати кількісне порівняння трансформованих електричних мереж за встановленими критеріями.

У випадку, якщо встановити відповідність між властивостями організаційної структури, системою організаційних заходів, наприклад, планом дій будь-якої організації і параметрами електричної мережі, то можна говорити про формальний апарат синтезу структур на основі тензорних перетворень електричних мереж.

Оскільки реалізація процедур синтезу структур у повному обсязі (повномасштабного проєктування) на основі апарату тензорних перетворень пов'язана з рядом труднощів, а саме — це надзвичайно велика розмірність задач, то застосування методології Г. Крона доцільно здійснювати у вигляді процедур трансформації вже існуючих структур.

Даний підхід передбачає використання банку заздалегідь сформованих організаційних структур, які подані у вигляді багатокотушкових електричних мереж із формалізованим описом поведінки системи (рис. 1). Критерій поведінки визначає область припустимих значень параметрів системи або область її існування.

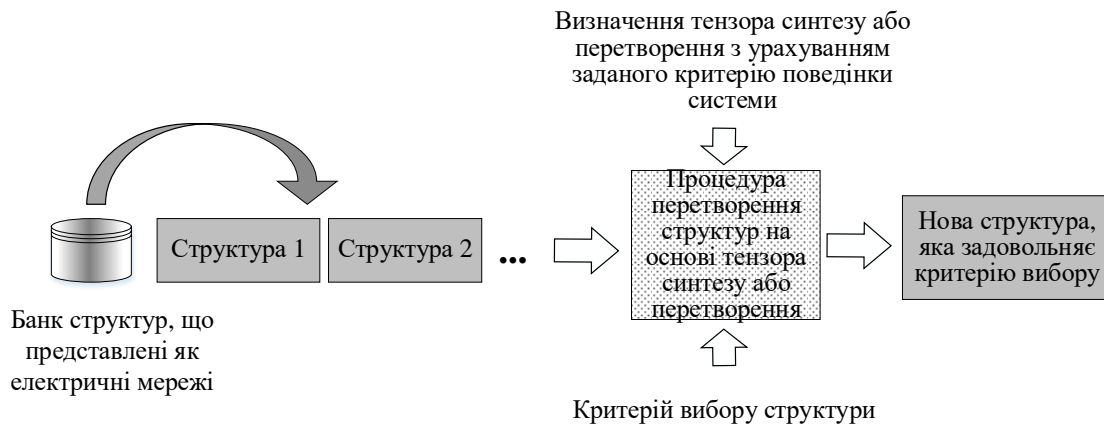


Рисунок 1 — Синтез нових структур за допомогою тензорного перетворення заздалегідь сформованих вихідних структур-мереж

При трансформації розглянутої структури з бази даних витягується структура-мережа, яка актуальна поточному стану системи. Далі проводиться уточнення критерію поведінки системи і на його основі тензора синтезу. За допомогою тензора синтезу генеруються альтернативні варіанти структур, які задовольняють встановленому критерію поведінки системи. Із сформованої множини альтернатив, за допомогою заданого критерію вибору, визначається конкретна структура, яка найкращим чином відповідає меті трансформації.

Ефективність методології тензорного перетворення мереж як формального апарата синтезу організаційних структур залежить від того, наскільки адекватно інтерпретовані системні властивості в термінах електричної мережі. У зв'язку з цим доцільно проаналізувати інтерпретацію організаційних структур, систем організаційних заходів за допомогою параметрів електричної мережі Крона.

3.2. Основні положення методології тензорних перетворень електричних мереж

При перетвореннях електричних мереж Кроном вводиться таке поняття, як примітивна мережа, яка складається з окремих котушок, не з'єднаних між собою. Причому котушки можуть бути коротко замкнутими, тоді слід говорити про контурну примітивну мережу, або незамкнутими, тоді розглядається вузлова мережа.

Кожна котушка примітивної мережі характеризується її імпедансом, z (опір з урахуванням індуктивності) або адмітансом, $y = z^{-1}$ (комплексна провідність котушки для гармонійного сигналу).

При виконанні перетворень до затискачів котушок або елементарних контурів примітивної мережі прикладаються напруга та (або) струми (рис. 2). Здійснюється збудження мережі.

На рис. 2 параметри примітивних мереж: імпеданси (адмітанси) котушок, прикладені напруги і токи позначаються за допомогою малих або великих літер. У першому випадку таке позначення прийнято для внутрішньоконтурних напруг і струмів. У другому — для зовнішніх напруг і струмів для вузлової мережі або для розірваних контурів.

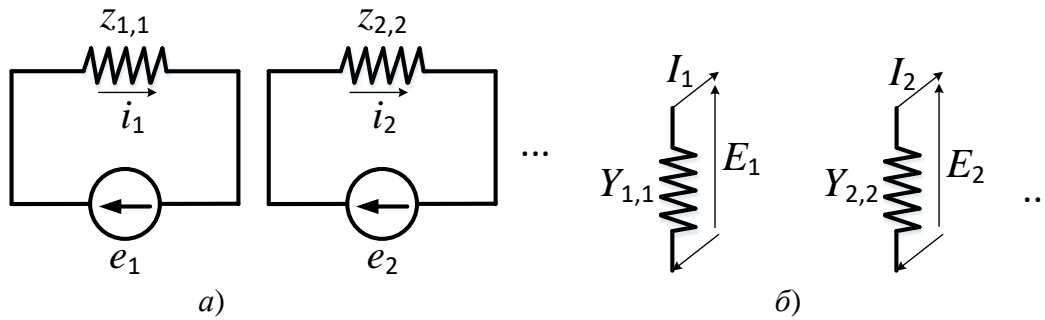


Рисунок 2 — Примітивні електричні мережі із прикладеними напругами і струмами:
а) контурна мережа; б) вузлова мережа

Примітивні електричні мережі характеризуються за допомогою таких параметрів:

- вектора напруг:

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ для контурної мережі, } \mathbf{E} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ для вузлової мережі;} \quad (1)$$

- вектора струмів:

$$\mathbf{i} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ для контурної мережі, } \mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ для вузлової мережі;} \quad (2)$$

- тензора імпедансів або адмітансів:

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_{1,1} & z_{1,2} & \cdots \\ z_{2,1} & z_{2,2} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \text{ для контурної мережі, } \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_{1,1} & Y_{1,2} & \cdots \\ Y_{2,1} & Y_{2,2} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \text{ для вузлової мережі.} \quad (3)$$

Для встановлення з'єднань між котушками примітивної мережі Кроном вводиться тензор перетворення [12]:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{1,1} & \cdots & c_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n,1} & \cdots & c_{n,n} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де n — кількість котушок (геометричних об'єктів) мережі. Як геометричні об'єкти Кроном визначались окремі контури, групи контурів, групи вузлових пар і окремі вузлові пари.

Елементи тензора перетворення приймають значення або нуль, або одиниця зі знаком плюс або мінус:

$$c_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i, \text{ то котушка з'єднана з } j\text{-ою котушкою, напрямок струму "позитивний",} \\ -1, & \text{якщо } i, \text{ то котушка з'єднана з } j\text{-ою котушкою, напрямок струму "негативний",} \\ 0, & \text{між котушками немає зв'язку.} \end{cases} \quad (5)$$

Мережа, що утворюється за допомогою тензора перетворення з контурної або вузлової примітивних мереж, відповідно, набуває вигляд контурної (рис. 3 а) або вузлової (рис. 3 б) перетвореної мережі.

Параметри електричних мереж задовольняють закону Ома.

Для контурних мереж закон Ома записується у вигляді рівняння напруги:

$$\mathbf{e} = \mathbf{z} \cdot \mathbf{i}. \quad (6)$$

Для вузлових (відкритих) мереж, відповідно, у вигляді рівняння струму:

$$\mathbf{I} = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{E}. \quad (7)$$

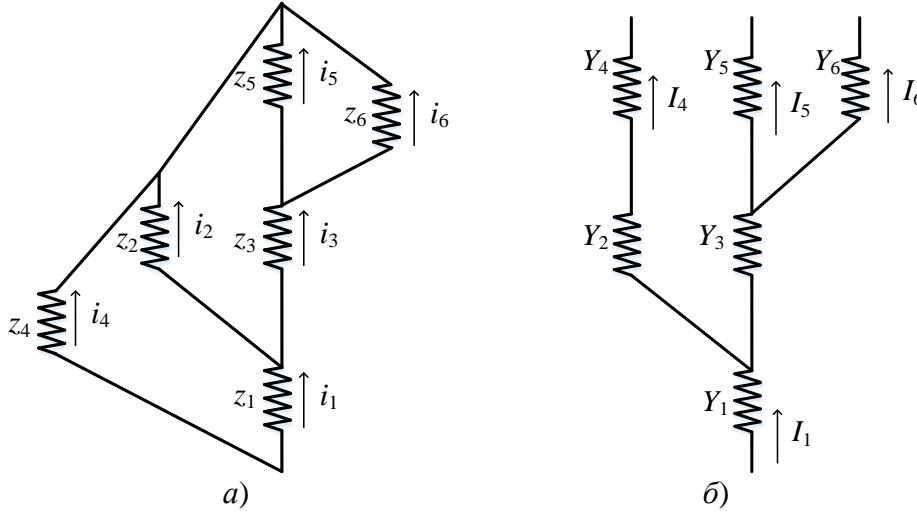


Рисунок 3 — Перетворена електрична мережа: а) контурна; б) вузлова

Векторне рівняння (6) еквівалентно такій системі алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} e_1 = z_{1,1}i_1 + z_{1,2}i_2 + \dots, \\ e_2 = z_{2,1}i_1 + z_{2,2}i_2 + \dots, \\ \vdots \end{cases} \quad (8)$$

а (7) еквівалентно

$$\begin{cases} I_1 = Y_{1,1}E_1 + Y_{1,2}E_2 + \dots, \\ I_2 = Y_{2,1}E_1 + Y_{2,2}E_2 + \dots, \\ \vdots \end{cases} \quad (9)$$

Для змішаної контурно-вузлової мережі система алгебраїчних рівнянь у формі рівняння напруги буде

$$\begin{cases} e_1 + E_1 = z_{1,1}(i_1 + I_1) + z_{1,2}(i_2 + I_2) + \dots + z_{1,n}(i_n + I_n), \\ e_2 + E_2 = z_{2,1}(i_1 + I_1) + z_{2,2}(i_2 + I_2) + \dots + z_{2,n}(i_n + I_n), \\ \vdots \\ e_n + E_n = z_{n,1}(i_1 + I_1) + z_{n,2}(i_2 + I_2) + \dots + z_{n,n}(i_n + I_n), \end{cases} \quad (10)$$

а у формі рівняння струму буде

$$\begin{cases} I_1 + i_1 = Y_{1,1}(E_1 + e_1) + Y_{1,2}(E_2 + e_2) + \dots + Y_{1,n}(E_n + e_n), \\ I_2 + i_2 = Y_{2,1}(E_1 + e_1) + Y_{2,2}(E_2 + e_2) + \dots + Y_{2,n}(E_n + e_n), \\ \vdots \\ I_n + i_n = Y_{n,1}(E_1 + e_1) + Y_{n,2}(E_2 + e_2) + \dots + Y_{n,n}(E_n + e_n), \end{cases} \quad (11)$$

де n — кількість контурно-вузлових геометричних об'єктів мережі;

$I_j, i_j, j = 1, \dots, n$ — струми у гілках мережі, відповідно, при взаємодії з вузловими і контурними геометричними об'єктами мережі, тобто зовнішньо прикладені і внутрішні контурні струми;

$E_j, e_j, j = 1, \dots, n$ — зовнішні прикладені і внутрішні напруги у гілках мережі.

Важливими характеристиками електричної мережі є величини миттєвої потужності, що підводяться і відводяться. Відповідно:

$$P = \mathbf{e} \cdot \mathbf{i} \quad (12)$$

та

$$P = \mathbf{E} \cdot \mathbf{I}. \quad (13)$$

Якщо прийняти, що потужність мережі (що підводиться або відводиться в залежності від задачі, яка розв'язується, та виду мережі) є інваріант

$$P = \text{const}, \quad (14)$$

то параметри перетвореної мережі можуть бути визначені за допомогою таких співвідношень [12]:

- тензор імпедансів:

$$\mathbf{z}' = \mathbf{C}^T \mathbf{z} \mathbf{C}; \quad (15)$$

- вектор контурних напруг:

$$\mathbf{e}' = \mathbf{C}^T \mathbf{e}; \quad (16)$$

- вектор невідомих струмів у контурах:

$$\mathbf{i}' = \mathbf{z}'^{-1} \mathbf{e}' = \mathbf{y}' \mathbf{e}'; \quad (17)$$

- тензор адмітансів:

$$\mathbf{Y}' = \mathbf{C}^{T-1} \mathbf{Y} \mathbf{C}^{-1}; \quad (18)$$

- вектор вузлових струмів:

$$\mathbf{I}' = \mathbf{C}^{-1} \mathbf{I}; \quad (19)$$

- вектор невідомих напруг у вузлових парах:

$$\mathbf{E}' = \mathbf{Y}'^{-1} \mathbf{I}', \quad (20)$$

де $\mathbf{e}, \mathbf{z}, \mathbf{i}, \mathbf{E}, \mathbf{Y}, \mathbf{I}$ — параметри примітивної мережі, з якої перетворюється мережа, що розглядається;

$\mathbf{e}', \mathbf{z}', \mathbf{i}', \mathbf{E}', \mathbf{Y}', \mathbf{I}'$ — параметри перетвореної мережі;

\mathbf{C} — тензор перетворення мережі.

Струми і напруги, що виникають у кожній окремо узятій котушці перетвореної мережі, визначаються як

$$\mathbf{i}'_c = \mathbf{C} \cdot \mathbf{i}', \quad (21)$$

$$\mathbf{e}'_c = \mathbf{z} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{i}', \quad (22)$$

$$\mathbf{E}'_c = \mathbf{C}^{T-1} \cdot \mathbf{E}', \quad (23)$$

$$\mathbf{I}'_c = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{C}^{T-1} \cdot \mathbf{E}', \quad (24)$$

де $\mathbf{i}'_c, \mathbf{e}'_c, \mathbf{I}'_c, \mathbf{E}'_c$ — відповідно, внутрішні контурні та вузлові струми і напруги на окремих котушках перетвореної мережі;

\mathbf{z}, \mathbf{Y} — тензори імпедансу і адмітансу примітивної мережі.

Перетворення (15)–(20) також прийнятні і для мереж, коли вихідна мережа не є примітивною. Так, параметри β -мережі, які є результатом перетворення з α -мережі, яка не примітивна, обчислюються як

$$\mathbf{z}'_\beta = \mathbf{C}_{\alpha,\beta}^T \mathbf{z}'_\alpha \mathbf{C}_{\alpha,\beta}, \quad (25)$$

$$\mathbf{e}'_\beta = \mathbf{C}_{\alpha,\beta}^T \mathbf{e}'_\alpha, \quad (26)$$

$$\mathbf{Y}'_\beta = \mathbf{C}_{\alpha,\beta}^T \mathbf{Y}'_\alpha \mathbf{C}_{\alpha,\beta}^{-1}, \quad (27)$$

$$\mathbf{I}'_\beta = \mathbf{C}_{\alpha,\beta}^{-1} \mathbf{I}'_\alpha, \quad (28)$$

$$\mathbf{C}_{\alpha,\beta} = \mathbf{C}_\alpha^{-1} \mathbf{C}_\beta, \quad (29)$$

де $\mathbf{C}_{\alpha,\beta}$ — тензор перетворення мережі α в мережу β ;

\mathbf{C}_α — тензор перетворення примітивної мережі в мережу α ;

\mathbf{C}_β — тензор перетворення примітивної мережі в мережу β .

Крім умови інваріантності потужності мережі, при перетвореннях також використовується інваріант, який ґрунтується на незмінності характеру поведінки мережі:

$$Q(\mathbf{z}, \mathbf{i}, \mathbf{e}) = Q(\mathbf{z}'_\alpha, \mathbf{i}'_\alpha, \mathbf{e}'_\alpha) = Q(\mathbf{z}'_\beta, \mathbf{i}'_\beta, \mathbf{e}'_\beta) = 0, \quad (30)$$

де $\mathbf{z}, \mathbf{i}, \mathbf{e}, \mathbf{z}'_\alpha, \mathbf{i}'_\alpha, \mathbf{e}'_\alpha, \mathbf{z}'_\beta, \mathbf{i}'_\beta, \mathbf{e}'_\beta$ — параметри вихідної та перетвореної мереж;

$Q(\mathbf{z}, \mathbf{i}, \mathbf{e}) = 0$ — формалізоване подання характеру поведінки мережі. Даний вираз є умовою, яка визначає область існування мереж, що перетворюються.

Тензор, який забезпечує перетворення вихідної електричної мережі до множини мереж із збереженням незмінності характеру поведінки мережі, називається тензором синтезу, \mathbf{C}'_σ [12].

За допомогою тензора синтезу здійснюються перетворення, які аналогічні (25)–(28). Наприклад, тензор імпедансів перетвореної мережі має вигляд

$$\mathbf{z}'_\beta = \mathbf{C}'_\sigma{}^T \mathbf{z}'_\alpha \mathbf{C}'_\sigma, \quad (31)$$

а тензор адмітансів, відповідно

$$\mathbf{Y}'_\beta = (\mathbf{C}'_\sigma{}^T)^{-1} \mathbf{Y}'_\alpha (\mathbf{C}'_\sigma)^{-1}. \quad (32)$$

Для визначення струмів і напруг в окремих котушках синтезованої мережі використовується примітивний тензор синтезу, \mathbf{C}_σ , а також рівняння напруги і струму.

Примітивний тензор синтезу встановлює зв'язок між примітивними мережами для α -мережі і β -мережі. Тобто:

$$\mathbf{z}_\beta = \mathbf{C}_\sigma{}^T \mathbf{z}_\alpha \mathbf{C}_\sigma, \quad (33)$$

$$\mathbf{Y}_\beta = (\mathbf{C}_\sigma{}^T)^{-1} \mathbf{Y}_\alpha \mathbf{C}_\sigma^{-1}, \quad (34)$$

де $\mathbf{z}_\alpha, \mathbf{z}_\beta$ — тензори імпедансів примітивних мереж, з яких перетворені, відповідно, α -мережа і β -мережа;

$\mathbf{Y}_\alpha, \mathbf{Y}_\beta$ — тензори адмітансів примітивних мереж α і β .

Вираз, за допомогою якого визначається примітивний тензор синтезу для мереж, що розглядаються, має вид

$$\mathbf{C}_\sigma = \mathbf{C}_\alpha \mathbf{C}'_\sigma \mathbf{C}_\beta^{-1}, \quad (35)$$

де $\mathbf{C}_\alpha, \mathbf{C}_\beta$ — тензори перетворення мереж α і β з їх примітивних мереж.

Напруги і струми на окремих котушках для синтезованої β -мережі обчислюються за допомогою рівняння напруги і струму, які записано для примітивної мережі:

$$\mathbf{e}_\beta = \mathbf{z}_\beta \mathbf{i}_\beta, \quad (36)$$

$$\mathbf{i}_\beta = \mathbf{C}_\beta \mathbf{i}'_\beta, \quad (37)$$

$$\mathbf{I}_\beta = \mathbf{Y}_\beta \mathbf{E}_\beta, \quad (38)$$

$$\mathbf{E}_\beta = \mathbf{C}_\beta^{\text{T}^{-1}} \mathbf{E}'_\beta, \quad (39)$$

де $\mathbf{e}_\beta, \mathbf{i}_\beta, \mathbf{E}_\beta, \mathbf{I}_\beta$ — напруги і струми на котушках β -мережі, що входять до складу контурів та відкритих гілок, відповідно.

Метод формування тензора синтезу \mathbf{C}'_σ залежить від виду використаного критерію поведінки мережі $Q(\mathbf{z}, \mathbf{i}, \mathbf{e}) = 0$. У результаті формується компаунд-тензор (тензор, елементи якого також є тензорами) [12].

Використовуючи (31) або (32), формується множина електричних мереж, які задовольняють встановленому критерію поведінки. При цьому миттєва потужність мережі не залишається постійною. Вибір конкретної мережі зі сформованої множини альтернатив здійснюється за допомогою додаткових критеріїв, що встановлюються в кожному конкретному випадку задачі проектування.

3.3. Параметри електричних мереж і параметри організаційних заходів

Під організаційним заходом у статті розуміються дія, процес, операція, для виконання яких налаштовуються окремі виконавці або їх колективи, організаційно-штатні підрозділи, технічні засоби та інші матеріальні ресурси.

Як параметри, що характеризують кількісний бік організаційних заходів, слід виділити:

- кількість виконавців, технічних засобів та ресурсів, що надано для проведення заходу;
- продуктивність сил і засобів. Отриманий корисний ефект, який забезпечується за рахунок роботи використаних сил і засобів;
- отриману потужність функціонування;
- корисну віддачу від витрачених ресурсів або коефіцієнт корисної дії (ККД) сил і засобів, що застосовуються;
- ресурсоемність («вартість») одиниці отриманого корисного ефекту.

Дані параметри можна інтерпретувати за допомогою характеристик електричних мереж.

Так, кількість виконавців, технічних засобів, матеріальних ресурсів, що залучаються для виконання заходу, можна охарактеризувати як використаний або потрібний для вирішення поставленої задачі потенціал. Параметр електричних мереж, який асоціюється з даною характеристикою, є внутрішня контурна або зовнішня прикладена напруга:

$$n \rightarrow e, \quad (40)$$

$$N \rightarrow E, \quad (41)$$

де n, N — використаний або потрібний потенціал сил та засобів, що використовуються;
 e, E — внутрішня контурна та зовнішня прикладена напруга мережі.

Продуктивність сил та засобів або отриманий корисний ефект, який забезпечується за рахунок роботи залучених сил та засобів, може бути асоційований з таким параметром, як сила струму. При цьому внутрішній контурний струм слід використовувати для кількісного вимірювання продуктивності для внутрішньосистемних заходів (процеси забезпечення життєдіяльності, підтримки функціонування та ін.). Струм для відкритих контурів (вузловий струм) — для вимірювання продуктивності сил і засобів у відношенні до зовнішнього ефекту. Тобто:

$$\dot{w} \rightarrow i, \quad (42)$$

$$\dot{W} \rightarrow I, \quad (43)$$

де \dot{w}, \dot{W} — продуктивність (вироблений у одиницю часу корисний ефект) сил і засобів при розгляді внутрішньосистемних і зовнішніх процесів;

i, I — струм у замкнутих і розірваних контурах мережі.

Потужність функціонування сил і засобів, що залучаються до проведення організаційного заходу, може бути оцінена як

$$P = N \cdot \dot{W}. \quad (44)$$

При розгляді потужності організаційної системи враховується тільки зовнішній ефект, що виробляється.

Аналогом потужності (44), записаної для організаційної моделі, служитиме потужність електричної мережі (13):

$$P = \dot{W} \cdot N \rightarrow E \cdot I. \quad (45)$$

Корисна віддача від витрачених ресурсів або ККД використаних сил і засобів характеризується величиною питомого корисного ефекту або ефекту, що припадає на одну умовну одиницю потенціалу сил та засобів:

$$\dot{W}^{\text{ПТМ.}} = \frac{\dot{W}}{N}, \quad (46)$$

$$\dot{w}^{\text{ПТМ.}} = \frac{w}{n}. \quad (47)$$

У термінах електричних мереж аналогом ККД є адмітанс котушки.

Для вузлової пари:

$$\dot{W}^{\text{ПТМ.}} \rightarrow Y = \frac{I}{E}, \quad (48)$$

для контуру:

$$\dot{w}^{\text{ПТМ.}} \rightarrow y = \frac{i}{e}. \quad (49)$$

Ресурсоемність («вартість») одиниці отриманого корисного ефекту є величина, яка зворотна ККД або корисній віддачі від потенціалу. Фізичний зміст даної величини — це розхід сил і засобів, який необхідний для виробництва одиниці корисного ефекту:

$$N^{\text{ПТМ.}} = \frac{N}{\dot{W}}, \quad (50)$$

$$n^{\text{ПТМ.}} = \frac{n}{\dot{w}}. \quad (51)$$

Аналог для (50) і (51) — це імпеданс електричної котушки:

$$N^{\text{ПТМ.}} \rightarrow Z = \frac{E}{I} = Y^{-1}, \quad (52)$$

$$n^{\text{ПТМ.}} \rightarrow Z = \frac{e}{i} = y^{-1}. \quad (53)$$

3.4. Приклад інтерпретації організаційних заходів за допомогою вузлової електричної мережі

Розглянемо таку організаційну систему з підготовки фахівців для галузі економіки.

Система представлена шкільними навчальними закладами, що ведуть навчання за загальними і спеціальними програмами. Випускники шкіл поступають у мережу закладів професійної підготовки (коледжів), галузевих ВНЗів і університетів. Випускники коледжів, ВНЗів і університетів займають вакантні посади на виробництві, у конструкторських бюро, в системі галузевого управління, в установах забезпечення функціонування галузі.

Якщо інтерпретувати дану систему підготовки у вигляді електричної мережі, то її примітивна мережа може бути подана у вигляді $(n + m + k)$ вузлових пар (рис. 4), де n — кількість загальноосвітніх закладів (шкіл), m — кількість закладів середньої освіти (коледжів), k — кількість закладів вищої освіти (ВНЗів та університетів).

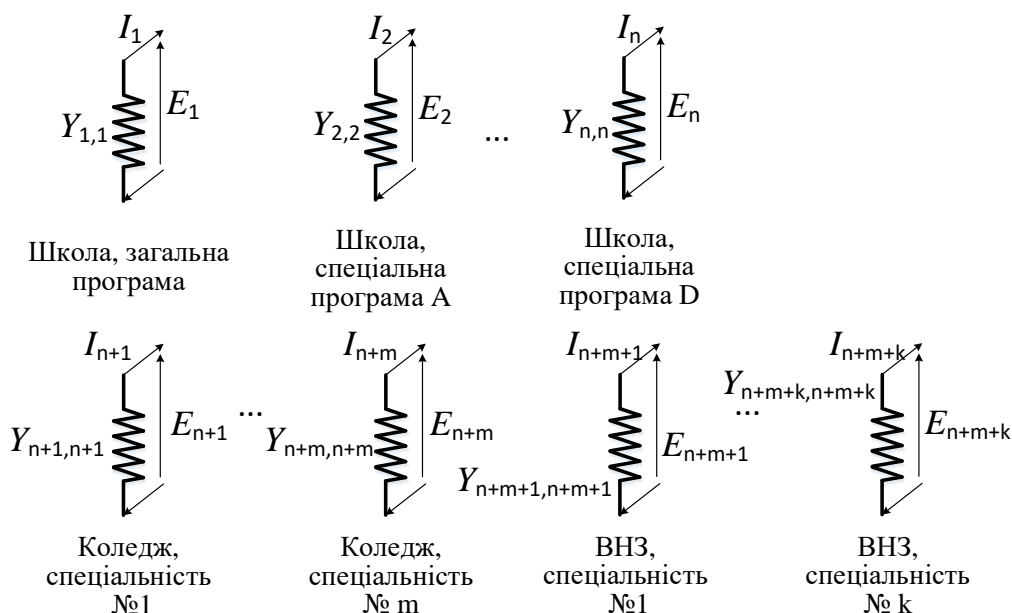


Рисунок 4 — Примітивна мережа для інтерпретації системи галузевої підготовки спеціалістів

Тензор адмітансів примітивної мережі (рис. 4) має вигляд

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_{1,1} & \cdots & Y_{1,n+m+k} \\ & \vdots & \\ Y_{n+m+k,1} & \cdots & Y_{n+m+k,n+m+k} \end{bmatrix}, \quad (54)$$

де $Y_{i,j}$, $i, j = 1, \dots, (n+m+k)$ — адмітанси котушок і перехресних зв'язків між ними. Дані величини вимірюють рівень корисної віддачі від вкладення ресурсів для навчальних закладів (НЗ) системи підготовки.

Значення адмітансів еквівалентні питомим витратам на підготовку випускників у НЗ, що розглядається. Адмітанси, що є елементами будь-якого одного стовпця тензора адмітансів, характеризують корисну віддачу від витрат на підготовку в одному НЗ, що відповідає встановленому стовпцю тензора. Всі адмітанси стовпця, крім діагонального елемента або особистого адмітансу визначеної котушки, характеризують корисну віддачу з одиниці витрат на випускників визначеного НЗ, помножені на вагові коефіцієнти їх участі у випусках фахівців у суміжних НЗ:

$$Y_{i,j} \rightarrow \frac{\gamma_{i,j}}{s_j^{(1)}}, \quad j = \text{const}, \quad i \in \Omega, \quad j \neq i, \quad (55)$$

де $\gamma_{i,j}$ — ваговий коефіцієнт вступу випускників j -го НЗ в i -ий НЗ для подальшого навчання;

$s_j^{(1)}$ — вартість підготовки одного випускника в j -ому НЗ;

Ω — перелік НЗ у системі підготовки фахівців галузі.

Адмітанс, який є діагональним елементом, інтерпретується як корисна віддача з одиниці витрат на підготовку випускників, помножена на коефіцієнт вступу випускників даного закладу на вакантні посади в галузі:

$$Y_{i,i} \rightarrow \frac{1 - \sum_{i \in \Omega, i \neq j} \gamma_{i,j}}{s_j^{(1)}}, \quad i \in \Omega. \quad (56)$$

Адмітанси, що утворюють елементи ряду тензора адмітансів, крім діагонального елемента, характеризують корисну віддачу з одиниці витрат на випускників у суміжних НЗ, які помножені на вагові коефіцієнти їх участі у випуску фахівців у НЗ, що розглядається:

$$Y_{i,j} \rightarrow \frac{\gamma_{i,j}}{s_j^{(1)}}, \quad j = \text{const}, \quad i \in \Omega, \quad j \neq i, \quad \sum_{j \in \Omega} \gamma_{i,j} = 1. \quad (57)$$

Рівняння струму для примітивної мережі може бути записано, як

$$\begin{cases} I_1 = Y_{1,1} E_1 + \dots + Y_{1,n+m+k} E_{n+m+k}, \\ \vdots \\ I_{n+m+k} = Y_{n+m+k,1} E_1 + \dots + Y_{n+m+k,n+m+k} E_{n+m+k}. \end{cases} \quad (58)$$

Визначаючи, що E_i — це річний обсяг фінансування, а I_i — річна кількість випускників для i -го НЗ, (58) можна інтерпретувати як галузевий баланс підготовки фахівців у системі навчальних закладів.

Перетворена із примітивної мережі вихідна мережа має вигляд відкритої (вузлової) мережі з паралельно-послідовним з'єднанням котушок (рис. 5). Для зручності додана

ще одна вузлова пара (світло-сіра котушка), за допомогою якої моделюються вакантні посади галузі, що обіймаються випускниками НЗ.

З'єднання перетвореної мережі утворюють багатоваріантні шляхи підготовки фахівців, коли заняття вакантних посад можливе на основі отримання шкільної освіти, середньої освіти в коледжі або вищої освіти у ВНЗ (університеті).

Для перетвореної мережі існує тензор перетворення (з'єднання) примітивної мережі C . За його допомогою визначаються значення елементів тензора адмітансів та решта параметрів перетвореної мережі (рис. 5). Для визначення тензора перетворення необхідно виразити параметри примітивної мережі в термінах перетвореної мережі. У випадку вузлової мережі такими параметрами служать напруги на вузлових парах. Для примітивної мережі це є напруги на котушках, а для перетвореної мережі — напруги між довільно обраними вузлами мережі E'_i , $i = 1, \dots, (n + m + k + 1)$. Так як була додана додаткова котушка зовнішнього навантаження для системи освіти (вакантні місця галузі), то загальну кількість котушок збільшено на 1.

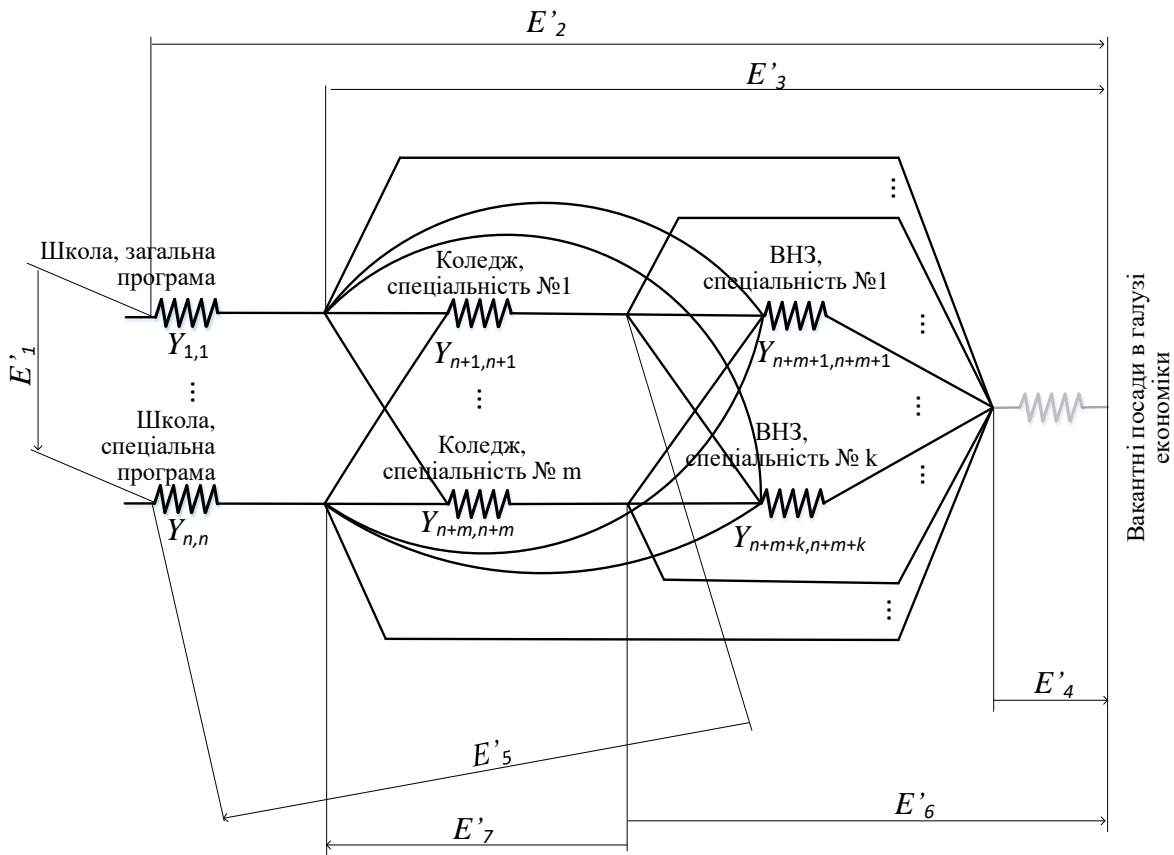


Рисунок 5 — Перетворена вихідна мережа для інтерпретації системи галузевої підготовки спеціалістів

Для виразу напруг на котушках через напруги між вузлами перетвореної мережі використовується другий закон Кірхгофа: напруга по замкнутому контуру дорівнює нулю. Так, наприклад,

$$E_1 + E'_3 - E'_2 = 0. \quad (59)$$

З цього

$$E_1 = E'_2 - E'_3. \quad (60)$$

Знак перед доданками в (59) визначається напрямком обходу контуру напруг і прийнятими напрямками напруги E_1, E_2, E_3 на схемі (рис. 5). Для напруг на окремих котушках, $E_i, i = 1, \dots, (n + m + k + 1)$, прийнято напрямок зліва направо.

Таким чином:

$$\left\{ \begin{array}{r} E_1 = +E'_2 - E'_3, \\ E_n = -E'_1 + E'_2 - E'_6 + E'_7, \\ E_{n+1} = E'_1 - E'_2 + E'_3 - E'_5, \\ E_{n+m} = -E'_7, \\ E_{n+m+1} = -E'_1 + E'_2 - E'_4 + E'_5, \\ E_{n+m+k} = -E'_4 + E'_6, \\ E_{n+m+k+1} = +E'_4. \end{array} \right. \quad (61)$$

Згідно з [12], відомо, що

$$\mathbf{E} = \mathbf{C}^{T-1} \cdot \mathbf{E}'. \quad (62)$$

На підставі (61) і (62)

$$\mathbf{C}^{T-1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (63)$$

та

$$\mathbf{C}^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (64)$$

Нові компоненти тензора адмітанса визначаються через адмітанси примітивної мережі за допомогою (18), якщо \mathbf{C}^{T-1} і \mathbf{C}^{-1} визначені за допомогою (63) і (64).

Нові компоненти векторів струмів \mathbf{I}' визначаються за допомогою (19). Даний вектор характеризує струми, що протікають у вузлових парах перетвореної мережі (рис. 5).

На підставі встановленого вектора \mathbf{I}' визначаються елементи векторів напруг, \mathbf{E}' , у вузлових парах за допомогою (20).

На підставі знайдених напруг у вузлових парах, \mathbf{E}' , за допомогою (23), визначаються напруги на окремих котушках, \mathbf{E}'_c , у термінах перетвореної мережі.

Струми, що протікають в окремих котушках, \mathbf{I}'_c , визначаються за допомогою (24).

Тобто, використовуючи тензор перетворення та співвідношення між параметрами електричних мереж, що записані для умови інваріанта потужності мережі, отримано значення струмів і напруг на окремих котушках нової мережі, які записані в термінах примітивної мережі.

Примітивна мережа — це система вихідних даних, що характеризує можливості системи підготовки фахівців для галузі економіки. Описані обчислення дозволяють оцінити показники ефективності системи НЗ при встановленій системі зв'язків.

Використовуючи (27)–(29), (32), (34), (35), (38), (39), можна здійснити трансформації встановлених зв'язків системи НЗ з наступною оцінкою величин струмів і напруг на окремих котушках. Трансформації здійснюються за умовою інваріантності поведінки перетвореної мережі. Наприклад, як таку умову можна взяти незмінність сили струму на вихідній котушці, яка інтерпретується як процес зайняття галузевих вакансій випускниками НЗ.

Приведені міркування і математичні вирази показують принципову можливість інтерпретації систем організаційних заходів за допомогою електричних мереж. Застосовуючи методологію тензорних перетворень [12], можна побудувати апарат трансформації структур систем організаційного управління.

4. Висновки

Таким чином, наведені у статті результати дозволяють говорити про можливість побудови формальних методів із трансформації структур систем організаційних заходів, організаційного управління на основі методології теоретико-множинного і алгебраїчного синтезу топологій у вигляді тензорних перетворень електричних мереж.

Для інтерпретації організаційних заходів за допомогою електричних мереж доцільно встановити таку відповідність між параметрами заходів та параметрами електричної мережі:

- внутрішня контурна або зовнішня прикладена напруга відповідає використаному або потрібному потенціалу сил і засобів, що застосовуються (фактичному або потрібному обсягу фінансування);
- внутрішній контурний або вузловий струм — продуктивності (корисному ефекту за одиницю часу) сил і засобів при розгляді внутрішньосистемних або зовнішніх процесів;
- адмітанс котушки — корисній віддачі від одиниці використаного потенціалу (вкладених ресурсів);
- елементи тензора адмітансів — питомим корисним діям, що досягаються при проведенні заходів з урахуванням їх перехресних впливів;
- імпеданс котушки — витратам ресурсів на одиницю корисного ефекту;
- елементи тензора імпедансів — питомим витратам на отриманий корисний ефект з урахуванням перехресних впливів заходів, що проводяться.

Напрямок подальших досліджень щодо розвитку методу трансформації організаційних структур за допомогою тензорних перетворень електричних мереж слід зв'язувати з розробкою таких формальних методів:

- визначення елементів тензорів перетворення (з'єднання) при великій розмірності мереж, що перетворюються;
- отримання тензорів синтезу для інваріантів специфічних форм поведінки систем.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Mukhacheva N.N., Popov D.V. Ontologicheskie modeli i metody dlya upravleniya informatsionno-intellektualnymi resursami organizatsii [Ontological models and methods for managing information and intellectual resources of an organization]. *Vestnik UGATU. Bulletin of USATU*. 2011. Vol. 14, N 1 (36). P. 123–135. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologicheskie-modeli-i-metody-dlya-upravleniyai-nformatsionno-intellektualnymi-resursami-organizatsii.pdf>.
2. Koo B., Simmons W. Algebra of systems: a metalanguage for model synthesis and evaluation. *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics*. 2009. Vol. 39, N 3. P. 501–513.

3. Bourbaki N. Elements de Mathématique. XX. Première partie. Les structures fondamentales de l'Analyse. Livre I Théorie des Ensembles. Hermann et Cie. Paris, 1956. 1 edition. 118 p.
4. Буров Є.В. Концептуальне моделювання інтелектуальних програмних систем. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. 432 с.
5. Bonabeau E., Theraulaz G., Deneubourg J.L., Aron S., Gamazine S. Self-organization in social insects. *Trends in Ecology and Evolution*. 1997. N 12 (50). P. 188–193.
6. Gamazine S., Deneubourg J.L., Franks N.R., Sneyd J., Theraulaz G., Bonabeau E. Self-organization in biological systems. NJ, Princeton: Princeton University Press, 2001. 560 p.
7. Буров Є.В., Пасічник В.В. Програмні системи на базі онтологічних моделей задач. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Інформаційні системи та мережі: зб. наук. пр. 2015. № 829. С. 36–57.
8. Nikanorov S.P., Vybornov S.V., Ivanov A.Yu., Korshikov S.E., Kostyuk A.V., Kuchkarov Z.A., Mikhhev V.V., Shalyapina S.K. Safety research / S.P. Nikanorova (ed.). Concept, 2006. 624 p. URL: <https://vestnik.socio.msu.ru/issue/download>.
9. Nikitina N.K., Postnikov V.V. Development of a language for gender-structural explication of subject areas. *Development and conceptual design of intelligent systems: Sat. abstracts of reports and messages*. 1990. Part 1. P. 70–73.
10. Ivanov A.Yu., Nikanorov S.P., Garayeva Yu.R. Handbook of system-theoretic constructs. *Methodology and technology. Series: Conceptual Analysis and Design*. Concept, 2008. 314 p.
11. Rodriguez S., Hilaire V., Gaud N., Galland S., Koukam A. Holonic Multi-Agent Systems, Self-organising Software. Natural Computing Series, Berlin: Springer, 2011. P. 238–263.
12. Kron G. Tensor analysis of networks. John Wiley and sons, inc. London: Capman and Hall, Limited. New York, 1966. 720 p.

Стаття надійшла до редакції 11.03.2024