

DOI: 10.6084/m9.figshare.11340626

УДК 005:621.311.1

Ачкасов Ігор Анатолійович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри управління проектами, orcid.org/0000-0002-7049-0530
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Бушуєва Вікторія Борисівна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри управління проектами, orcid.org/0000-0001-7298-4369
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**КОМПЛІМЕНТАРНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В УПРАВЛІННІ ПОРТФЕЛЯМИ
ПРОЕКТІВ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ**

***Анотація.** Розглянуто модель компліментарних нейронних мереж управління портфелями проектів зменшення витрат електроенергії у електричних мережах в умовах невизначеності (спостережності, неверифікованої інформації та недосконаlosti методів оцінки технологічних витрат). Визначено принципи та методи формування портфеля проектів зменшення витрат в електричних мережах. Визначено властивості нейронних мереж щодо паралельності опрацювання інформації, самоорганізації, навчання, узагальнення тощо. Наведено загальну модель нейронної мережі, її елементи та техніки навчання. Введено поняття компліментарної нейронної мережі та класів компліментарності. Визначено поняття архітектура компліментарних нейронних мереж. В межах компліментарних мереж введено алгебру з носієм, який визначається елементами штучної нейронної мережі та сигнатури, яка формує класи операцій компліментарності нейронних мереж щодо портфельного управління проблемами зменшення витрат у електричних мережах.*

***Ключові слова:** компліментарні нейронні мережі; концептуальна модель; портфель проектів; витрати електроенергії*

Вступ

Однією з умов інтеграції України у Європейське співтовариство є ефективне використання енергоресурсів, одним з яких є електроенергія. Саме витрати електроенергії на її транспортування від електростанцій до споживачів в Україні значно перевищують аналогічний показник країн Західної Європи. Особливо це стосується розподільних електричних мереж 0,38 кВ, витрати в яких на сьогодні сягають 30% в деяких регіонах країни [1], що є результатом неефективності проектів їх зменшення. Для вирішення зазначених проблем авторами пропонується застосування портфельного управління [2].

Основними причинами неефективності проектів зменшення витрат електроенергії на її транспортування в розподільних мережах 0,38 кВ є:

- низький рівень спостережності електричних мереж цього класу напруг, що зумовлює низьку якість вхідної інформації про режимні параметри, та наявність необлікованих споживачів [3];
- відсутність методів верифікації вихідної інформації [4];
- недосконалість методів розрахунку технологічних витрат електроенергії, а саме в частині їх точності, адекватності та можливостей щодо аналізу чутливості витрат в задачах їх зниження та ін. [5].

Одним зі шляхів вирішення проблем зниження витрат електроенергії в низьковольтних електричних мережах є розроблення нових або вдосконалення наявних методів управління портфелями проектів. Застосування техніки нейронних мереж відкриває нові можливості формування та управління портфелями проектів розвитку. Нейронні мережі визначаються як набір математичних і алгоритмічних методів для вирішення широкого розвитку складних електричних мереж. Виділимо характерні риси нейронних мереж як універсального інструменту для вирішення завдань [6]:

- нейронні мережі дають можливість краще зрозуміти організацію нервової системи людини і тварин на середніх рівнях (пам'ять, опрацювання сенсорної інформації, моторика);
- нейронні мережі є засобом опрацювання інформації;
- нейронні мережі вільні від обмежень звичайних комп'ютерів завдяки паралельній обробці і сильній пов'язаності нейронів.

Як засіб опрацювання інформації нейронні мережі є гнучкими моделями для нелінійної апроксимації багатовимірних функцій, засобами прогнозування в часі для процесів, що залежать від багатьох змінних, класифікатор за багатьма ознаками, що дає розбиття вхідного простору на області, інструмент для пошуку за асоціаціями, модель для пошуку закономірностей в масивах даних.

Більшість моделей нейронних мереж потребують навчання. У загальному випадку, навчання – такий вибір параметрів мережі, при якому мережа найкраще вирішує поставлену проблему. Навчання – це завдання багатовимірної оптимізації, і для її вирішення існує безліч алгоритмів.

Найважливіші властивості біологічних нейромереж:

1. *Паралельність опрацювання інформації.* Кожен нейрон формує свій вихід тільки на основі своїх входів і власного внутрішнього стану під впливом загальних механізмів регуляції нервової системи.

2. *Здатність до повного оброблення інформації.* Всі відомі завдання вирішуються нейронними мережами. До цієї групи властивостей належать асоціативність (мережа може відновлювати повний образ за його частиною), здатність до класифікації, узагальнення, абстрагування і безліч інших. Вони до кінця не систематизовані.

3. *Самоорганізація.* У процесі роботи нейронні мережі самостійно, під впливом зовнішнього середовища навчаються вирішенню різноманітних завдань. Невідомо ніяких принципів обмежень на складність завдань, що вирішуються біологічними нейронними мережами. Нервова система сама формує алгоритми своєї діяльності, уточнюючи і ускладнюючи їх протягом життя. Людина ще не створила таких систем, що володіють самоорганізацією і самовдосконаленням. Ця властивість нейронних мереж народжує безліч питань. Адаже можна замкнута система у процесі розвитку спрощується, деградує. Отже, підвид енергії до нейронної мережі має принципове значення. Чому ж серед усіх дисипативних (розсіюють енергію) нелінійних динамічних систем тільки у живих істот (зокрема, біологічних нейромереж) проявляється здатність до ускладнення? Яка принципова умова упущена людиною в спробах створити системи, що самоускладнюються?

4. *Нейронні мережі є аналоговими системами.* Інформація надходить в мережу по великій кількості каналів і кодується за просторовим принципом: вид інформації визначається номером нервового волокна, по якому вона передається. Амплітуда вхідного впливу кодується щільністю нервових імпульсів, що передаються по волокну.

5. *Надійність.* Нейронні мережі мають велику надійність: вихід з ладу навіть 10% нейронів в нервовій системі не перериває її роботи. Сучасні штучні нейронні мережі за складністю і "інтелектом" наближаються до нервової системи таргана, але вже зараз демонструють цінні властивості.

6. *Навчання.* Вибравши одну з моделей нейронних мереж, створивши мережу і виконавши алгоритм навчання, можемо навчити мережу

вирішення завдання, яке їй під силу. Немає ніяких гарантій, що це вдасться зробити для обраних мережі, алгоритму і задач, але якщо все зроблено правильно, то навчання буває успішним.

7. *Здатність до узагальнення.* Після навчання мережа стає нечутливою до малих змін вхідних сигналів (шуму або варіацій вхідних образів) і дає правильний результат на виході.

8. *Здатність до абстрагування.* Якщо надати мережі кілька спотворених варіантів вхідного образу, то мережа сама може створити на виході ідеальний образ, з яким вона ніколи не зустрічалася.

Мета статті

Метою та завданнями публікації є побудова комплементарної нейромережевої моделі формування портфелів проектів зменшення втрат електроенергії з урахуванням рівня спостережності, принципів формування портфеля та методів розрахунку втрат й верифікації наявної інформації.

Виклад основного матеріалу

Нейронне моделювання системи портфельного управління зменшенням втрат енергомереж

Нейронне моделювання портфельного управління зменшенням втрат електромереж пов'язане з необхідністю урахування взаємозв'язку операційної діяльності та управління розвитком організації [6; 7].

При цьому стратегія та цілі організації пов'язані зі збалансованим управлінням портфелем проектів та операційною діяльністю на основі єдиних організаційних ресурсів. Модель системи управління інтерпретує «Об'єкт управління» у вигляді портфеля проектів зменшення втрат електроенергії. На вхід системи управління подається завдання ТОП менеджменту організації. На виході отримуємо результати впровадження проектів портфеля. При цьому відхилення та збудження від завдання регулюється зворотним зв'язком (рис. 1).

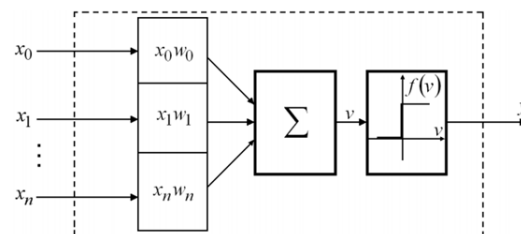


Рисунок 1 – Загальна модель елемента нейронної мережі

Наведена типова модель системи управління інтерпретує «Об'єкт управління» у вигляді портфеля проектів зменшення втрат електроенергії. На вхід системи управління подається завдання керівництва організації. На виході отримуємо результати впровадження проектів портфеля. При цьому

відхилення та збудження від завдання регулюється зворотним зв'язком. Визначальним у розв'язанні задач за допомогою технологій штучних нейронних мереж є навчання, оскільки надалі вже навчена нейронна мережа за відомими даними – “входами” повинна забезпечувати продукування результату у вигляді “виходів”. Адекватність таких висновків безпосередньо залежатиме від якості навчання.

Розглянемо методику навчання нейронної мережі, яку можна описати такими етапами:

- формується розрахункова схема електричної мережі у межах фідера;
- здійснюється серія розрахунків усталених режимів у функціонально-реальному діапазоні режимів навантаження;
- на підставі результатів цих розрахунків формується вибірка для навчання нейронної мережі;
- виконується навчання з використанням класичного методу (Back-Prpogation) зворотного поширення помилки;
- проводиться тестування режимів, що не увійшли до вибірки.

Моделювання нейронних мереж та їх навчання здійснюється за допомогою відомих математичних моделей [8; 9].

Принципи побудови компліментарних штучних нейромереж формування портфеля проектів зменшення втрат

У межах наявних класів штучних нейронних мереж [6] введемо новий клас «комплементарні» нейронні мережі. У межах цього класу визначимо два підкласи зовнішньої та внутрішньої компліментарності. Зовнішня компліментарність нейронної мережі наведена на рис. 2. Вона визначає міру адекватності мережі, яка навчена вирішувати конкретні завдання. Така міра може бути відображена коефіцієнтом адекватності, який показує відсоток правильних висновків нейронної мережі при вирішенні задач реальної системи.

Внутрішня компліментарність нейронної мережі вказує на ступінь покриття реальної системи та розмір ядра компліментарності. Ядро компліментарності визначає ступінь можливих перетинів двох або більше нейронних мереж.



Рисунок 2 – Зовнішня компліментарність нейронної мережі

Внутрішня компліментарність визначає взаємодію двох або більше фрагментів нейронних мереж з визначенням їх перетинів та взаємовпливів (рис. 3).



Рисунок 3 – Внутрішня компліментарність двох нейронних мереж

Розглянемо архітектуру моделей нейронних мереж, які застосовуються для вирішення завдань зменшення втрат електроенергії при постачанні.

Під час експлуатації електричних мереж значення навантажень є невідомим, а відомими є лише телеметричні виміри про значення активних (P_{\oplus}) та реактивних (Q_{\oplus}) потужностей, що надходять в енергопостачальну компанію з підстанцій по фідеру, де “входами” будуть розрахункові аналоги саме цих потужностей.

Архітектура включає такі штучні нейронні мережі:

- вхідна нейронна мережа фідера, яка допомагає вирішити завдання зменшення реактивної складової навантажень;
- нейронна мережа фідера, яка налаштована на зменшення втрат електроенергії у фідері;
- компліментарна нейронна мережа – спостерігач. Завданням цієї мережі є виявлення зон максимальних втрат та формування портфеля зменшення втрат.

Розглянемо застосування компліментарних нейронних мереж до управління портфелями проектів та програм зменшення втрат у електропостачальних компаніях.

Для моделювання компліментарних зв'язків штучних нейронних мереж введемо два класи зв'язків – зв'язки сильної та слабкої взаємодії. Зв'язки сильної взаємодії працюють в межах однієї нейронної мережі. Зв'язки слабкої взаємодії є компліментарними і регулюють взаємодію між нейронними мережами.

У класі слабких зв'язків взаємодії визначимо такі групи – зв'язок впливів на входи, зв'язок впливів на виходи та зв'язок впливів на функцію активації. Визначимо механізм регулювання компліментарних зв'язків нейронних мереж.

Нехай є n штучних нейронних мереж. Кожна мережа визначається вхідними сигналами, виходами, ваговими значеннями для кожного входу, виходу та

функціями активації. При цьому мережі можуть мати скриті шари параметрів з визначеними взаємозв'язками. Нехай кожна нейронна мережа навчається за своїми алгоритмами. У процесі функціонування дві або більше нейронних мереж взаємодіють на основі компліментарних зв'язків. Ці зв'язки пов'язують входи та виходи нейронних мереж та функції їх активації. При цьому формуються прямі та зворотні зв'язки між нейронними мережами, які вносять певні збудження (рандомізацію, пріоритезацію входів або виходів, зміни вигляду або параметрів функції активізації, евристичні значення вагових коефіцієнтів тощо). Після відключення таких взаємозв'язків нейронні мережі донавчаються та проводиться аналіз змін у результативності нейронної мережі.

Розглянемо подальшу формалізацію компліментарних штучних нейронних мереж. Введемо поняття базова штучна нейронна мережа як мережа, яка навчається та забезпечує виконання накладених функцій щодо розв'язання задач.

Визначимо алгебру взаємодії компліментарних нейронних мереж.

$$A = \langle B, \Omega \rangle,$$

де B – носій алгебри; Ω – сигнатура.

Носій алгебри B визначається скінченною множиною елементів, таких як входи, виходи, вагові коефіцієнти та функції активізації нейронних мереж:

$$\Omega = \{\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, \delta_6, \delta_7, \delta_8, \delta_9, \delta_{10}, \delta_{11}\}.$$

Операції сигнатури Ω над компліментарними моделями штучних нейронних мереж наведені у таблиці.

Таблиця – Операції над компліментарними моделями штучних нейронних мереж

| № | Назва операції |
|----|---|
| 1 | Заміна значення і входу нейронної мережі |
| 2 | Заміна значення і виходу нейронної мережі |
| 3 | Заміна функції активації компліментарної нейронної мережі |
| 4 | Додання нового входу компліментарної мережі |
| 5 | Додання нового виходу компліментарної мережі |
| 6 | Додання нової функції активації компліментарної мережі |
| 7 | Додання нового виходу компліментарної мережі |
| 8 | Оцінка відхилень виходів при глибокому навчанні нейронної мережі |
| 9 | Оцінка відхилень входів при глибокому навчанні нейронної мережі у процесі зворотного поширення |
| 10 | Оцінка відхилень виходів при глибокому навчанні нейронної мережі у процесі зворотного поширення |
| 11 | Зміна вагових коефіцієнтів зв'язків базової нейронної мережі |

Висновки

Впровадження методології моделювання компліментарних нейронних мереж визначає кожного з проектів портфеля. Це має бути підтвержене економічними та технічними розрахунками з урахуванням таких питань, як надійність постачання електроенергії та її якість.

Компліментарні нейронні мережі допомагають моделювати складні систем та їх взаємодію. Це забезпечує розвиток інструментів системного підходу до формування портфеля проектів щодо зниження втрат електроенергії в низьковольтних мережах.

Список літератури

1. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / [В.Э. Воронницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др.]; под ред. В.Н. Казанцева. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 366 с.
2. Стандарт управления портфелями. Второе издание. РМІ, 2008. – 144 с.
3. Казанцев В.Н. Методы расчета и пути снижения потерь энергии в электрических сетях. – Свердловск: Издание УПИ, 1983. – 82 с.
4. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю. С. Железко – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 172 с.
5. Адизес И. Интеграция: Выжить и стать сильнее в кризисные времена / Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. – 128 с.
6. Schmidhuber, J. (2015). "Deep Learning in Neural Networks: An Overview". *Neural Networks*. 61: 85 – 117.
7. Данилюк О., Ткаченко Р., Батюк Н., Юрчак І., Козовий А. Застосування технологій штучних нейронних мереж для визначення втрат електричної енергії в електричних мережах енергопостачальних компаній // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 1998. – № 347. – С. 114 – 117.
8. Oja E. *Neural networks, principal components and subspaces* // *Int. J. Neural Systems*, 1989.–vol.1. – P. 61 – 68.
9. Chua L.O., Yang L. *Cellular Neural Networks. Theory.* // *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 1988. – vol.35, № 10. – P. 1257 – 1272.

Стаття надійшла до редколегії 20.08.2019

Ачкасов Игорь Анатольевич

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления проектами, orcid.org/0000-0002-7049-0530
 Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Бушуева Виктория Борисовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры управления проектами, orcid.org/0000-0001-7298-4369
 Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**КОМПЛЕМЕНТАРНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В УПРАВЛЕНИИ
 ПОРТФЕЛЯМИ ПРОЕКТОВ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Аннотация. Рассмотрена модель комплементарных нейронных сетей управления портфелями проектов уменьшения расходов электроэнергии в электрических сетях в условиях неопределенности (наблюдаемости, неverified информации и несовершенства методов оценки технологических потерь). Определены принципы и методы формирования портфеля проектов уменьшения потерь в электрических сетях. Определены свойства нейронных сетей по параллельности обработки информации, самоорганизации, обучению, обобщению и т.п. Приведена общая модель нейронной сети, ее элементы и техники обучения. Введено понятие комплементарной нейронной сети и классов комплементарности. Определено понятие архитектуры комплементарных нейронных сетей. В рамках комплементарных сетей введена алгебра с носителем, который определяется элементами искусственной нейронной сети, и сигнатуры, которая формирует классы операций комплементарности нейронных сетей портфельного управления проблемами уменьшения потерь в электрических сетях.

Ключевые слова: комплементарные нейронные сети; концептуальная модель; портфель проектов; потери электроэнергии

Achkasov Igor

PhD, Associated professor of the project management department, orcid.org/0000-0002-7049-0530
 Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev

Bushueva Victoria

PhD, Associate Professor, Department of Project Management, orcid.org/0000-0001-7298-4369
 National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv

**COMPLEMENTARY NEURAL NETWORKS IN PORTFOLIO MANAGEMENT
 OF LOSS REDUCTION PROJECTS IN ELECTRIC NETWORKS**

Abstract. The model of complementary neural networks for managing project portfolios of reducing electricity consumption in electricity networks under uncertainty (observational, unverified information and imperfect methods of estimation of technological losses) is considered. The principles and methods of forming a portfolio of loss reduction projects in electric grids are defined. The properties of neural networks for parallel processing of information, self-organization, training, generalization, etc. are determined. The general model of the neural network, its elements and training techniques are given. The concepts of complementary neural network and complementarity classes are introduced. The concept of complementary neural network architecture is defined. Within the complementary networks, an algebra with a medium is introduced, which is determined by the elements of the artificial neural network and a signature that forms the classes of operations of the complementarity of the neural networks in relation to portfolio management of problems of reducing losses in electrical networks.

Keywords: complementary neural networks; conceptual model; project portfolio; electricity loss

References

1. Vorotnitsky V.E., Zhelezko Yu.S., Kazantsev V.N., etc; ed. Kazantseva V.N. (1983). *Electricity losses in power grid.* Moscow, Russia: Energoatomizdat, 366.
2. *Portfolio management standard. Second edition.* PMI. (2008), 144.
3. Kazantsev V.N., (1983). *Methods of Calculation and Ways to Reduce Energy Losses in Electric Networks.* Sverdlovsk: UPI Edition, 82.
4. Zhelezko, Yu.S. (1989). *Selection of measures to reduce electricity losses in electrical networks.* Moscow, Russia: Energoatomizdat, 172.
5. Adizes I. (2009). *Integration: Surviving and getting stronger in times of crisis*, 128 [in Russian].
6. Schmidhuber, J. (2015). "Deep Learning in Neural Networks: An Overview". *Neural Networks*. 61: 85 – 117.
7. Danylyuk O., Tkachenko R., Batiuk N., Yurchak I., & Kozovy A., (1998). *Application of Artificial Neural Network Technologies for Determination of Electricity Losses in Power Networks of Power Supply Companies.* *Visn. State Institution "Lviv Polytechnic"*. – № 347, 114 – 117.
8. Oja E. (1989). *Neural networks, principal components and subspaces* // *Int. J. Neural Systems – vol.1.* – 61 – 68.
9. Chua L.O., & Yang L. (1988). *Cellular Neural Networks. Theory.* *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 35, 10, 1257 – 1272.

Посилання на публікацію

- APA Achkasov, I. A., & Bushuieva, V.B., (2019). *Complementary Neural Networks in Portfolio Management Reduction of losses in electric networks.* *Management of Development of Complex Systems*, 39, 6 – 10; dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340626.
- ДСТУ Ачкасов І.А. Компліментарні нейронні мережі в управленні портфелем проектів зменшення витрат у електричних мережах [Текст] / І.А. Ачкасов, В.Б. Бушуєва // *Управління розвитком складних систем.* – 2019. – № 39. – С. 6 – 10; dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340626.