

НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В ДОСЛІДЖЕННЯХ АКАДЕМІКА В.І. СКОКА

Метою статті є висвітлення наукових здобутків видатного вченого в галузі фізіології нервової системи В.І. Скока в напрямку функціонування нейронних мереж.

Методологія дослідження полягає у використанні методологічних принципів, загальних для всіх галузей історичної науки (науковості, історизму, об'єктивності, системності, багатофакторності та всебічності пізнання). Також у дослідженні використано методи історичного пізнання з міждисциплінарним підходом (історико-теоретичний аналіз джерел, синтез, систематизація і класифікація; методи вивчення, порівняння та узагальнення історичної наукової літератури; проблемно-хронологічний, ретроспективний та персоналістично-біографічний методи).

У результаті дослідження з'ясовано, що наукова робота В.І. Скока, пов'язана з дослідженням властивостей провідних шляхів автономної нервової системи дала змогу встановити принципи координації найважливіших відділів нервової системи (організація провідних шляхів автономної нервової системи та наявність феномену мультиплікації у вегетативних гангліях). В.І. Скоку вдалося довести унікальність будови нервових клітин автономної нервової системи та дослідити принципи механізмів входу, обробки та передачі електричного струму (інформації), на яких побудована її робота штучних нейронних мереж. Розуміння функціонування нейрона і картини його зв'язків дозволило дослідникам створити математичні моделі для перевірки своїх теорій.

Ключові слова: В.І. Скок, автономна нервова система, нейрофізіологія, нейрон, фізіологія, Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця, штучні нейронні мережі, штучний інтелект.

Для кінця ХХ – початку ХХІ ст. характерним є прискорений розвиток високих технологій в усіх галузях і сферах діяльності людини. Особливо швидкого та інтенсивного піднесення за останні роки зазнала інформатика, що виросла з класу теоретичних фундаментальних дисциплін і значно розширила практичні сфери свого застосування. Тому досить актуальними є сфери наукової діяльності, пов'язані з математичним моделюванням процесів і явищ, таких як нейроінформатика, штучний інтелект, штучні нейронні мережі. Для забезпечення більш повною інформацією суспільства в науці вже досить довгий час (із 1949 р.) ведеться розробка і впровадження в повсякденне життя нових інтелектуальних систем, таких як штучний інтелект, інформаційно-нейронні мережі [10, с. 6]. Оскільки нейрофізіологія надає науковцям розширене розуміння дії нейронів, а технологія обчислень постійно вдосконалюється, розробники мереж мають необмежений простір для вдосконалення моделей біологічного мозку. Інтелектуальні системи на основі штучних нейронних мереж дозволяють із успіхом вирішувати проблеми розпізнавання образів, виконання прогнозів, оптимізації, асоціативній пам'яті і керування. У зв'язку з цим тема аналізу експериментальних біоелектричних явищ за допомогою штучних нейронних мереж і дослідження методів побудови та роботи самих мереж є актуальною для сьогодення.

У науковій літературі досить детально висвітлено роботу нейронних мереж, заснованої на принципах функціонування нервової системи людини і тварин. Водночас відсутній аналіз внеску фахівців-нейрофізіологів у розвиток такої перспективної галузі науки. Зважаючи на тісний зв'язок результатів досліджень українського нейрофізіолога академіка В.І. Скока з сучасними досягненнями в створенні штучного інтелекту доцільним є висвітлення його здобутків у галузі автономної нервової системи.

Дослідженням історії розвитку фізіологічної науки на території України займалися такі видатні науковці, як П.М. Серков [15, с. 12], П.Г. Костюк [5, с. 21], О.Є. Пурнинь [13, с. 93]. В їхніх працях неодноразово згадується ім'я видатного вченого в галузі фізіології нервової системи – академіка В.І. Скока. Науково-дослідна

робота академіка В.І. Скока висвітлювалась у працях О.Ф. Макаренка [11, с. 13] Л.О. Казімки [6, с. 116], П.М. Серкова [16, с. 20], Л. Гіттика [4, с. 45], П.Г. Костюка [8, с. 7] та ін. Проте ці праці висвітлюють в основному загальні напрямки наукової роботи вченого. В них відсутній конкретизований аналіз його наукових досягнень для розвитку нейронних мереж.

Тому головною метою цієї статті є висвітлення наукових здобутків видатного вченого в галузі фізіології нервової системи В.І. Скока в напрямку функціонування нейронних мереж.

Методологія дослідження полягає у використанні методологічних принципів, загальних для всіх галузей історичної науки (науковості, історизму, об'єктивності, системності, багатфакторності та всебічності пізнання), та методів історичного пізнання з міждисциплінарним підходом (історико-теоретичний аналіз джерел, синтез, систематизація і класифікація; методи вивчення, порівняння та узагальнення історичної наукової літератури; проблемно-хронологічний, ретроспективний та персоналістично-біографічний методи).

Володимир Іванович Скок – видатний учений-експериментатор, нейрофізіолог, талановитий організатор науки, педагог, творець наукової школи, академік НАН України, АН СРСР (РАН), АПН СРСР, Польської АН, лауреат Державних премій у галузі науки і техніки України та Росії, автор понад 300 наукових праць і монографій: «Фізіологія вегетативних гангліїв» (1970), за яку він був удостоєний премії імені І.М. Сеченова АН СРСР, «Нервно-мышечная физиология» (1986), «Нейрональные холинорецепторы» (1987), «Естественная активность вегетативных ганглиев» (1989).

Наукова робота В.І. Скока набула широкого розмаху в 60–70-х рр. ХХ ст., у стінах Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця АН УРСР, де він був керівником Відділу фізіології вегетативної нервової системи (1962–2003 рр.). У цей же час у світовій науці зростає інтерес до функціонування нейронних мереж. Величезний внесок у нейронауку зробила детекторна теорія. Її основоположником вважається американський нейрофізіолог Дж. Маккалок, який із групою своїх співробітників у 1959 р. опублікував статтю під назвою «Про що очі жаби говорять мозкові жаби», де вперше було введено поняття нейрона-детектора. Робота зацікавила багатьох дослідників, найбільш успішні з яких – Р. Хьюберт і Т. Визела, об'єднавши гістохімічні та нейрофізіологічні методи, показали, що нейрони зорової кори кішки вибірково реагують на лінії визначеного нахилу. Об'єднані у вертикальні стовпчики із загальним для них нахилом, ці нейрони утворюють аналізатор, який визначає нахил лінії в локальній ділянці простору. Таким чином, поняття аналізатора, уведені І.П. Павловим на підставі вивчення умовних рефлексів, знайшло в рамках детекторної теорії свою нейронну основу. Великим проривом у галузі нейроінтелекту стало створення нейрофізіологом Френком Розенблатом (Корнельський університет, Ітака, США) у 1962 р. моделі одношарової нейронної мережі, названої перцептроном. Вона була використана для такого широкого класу задач, як прогнозування погоди, аналіз електрокардіограм і штучний зір. У 1975 р. японський учений К. Фукушіма (К. Fukushima) представляє Когнітрон – мережу, котра самоорганізовується, призначену для інваріантного розпізнавання образів [7, с. 37].

Дослідження властивостей провідних шляхів симпатичних гангліїв вищих і нижчих хребетних і деяких безхребетних (ракоподібних і моллюсків), проведених В.І. Скоком для з'ясування зв'язків між центральними та периферичними відділами нервової системи і відповідно впливу ЦНС на автономну нервову систему і нервову регуляцію функцій внутрішніх органів у 60–70 рр. ХХ ст., і висвітлені у його праці «Физиология вегетативных ганглиев» (1970 р.), отримали світове визнання [17].

Дослідження провідних шляхів вегетативних гангліїв цікавило В.І. Скока, оскільки знання цих властивостей давало змогу зрозуміти шляхи передачі чутливої та

рухової інформації між ЦНС і внутрішніми органами, що, в свою чергу, пояснювало деякі патологічні порушення діяльності організму. Даний напрям посилено розвивався на той час за кордоном: в університеті Лойола в Чикаго, в Каліфорнійському Університеті в Сан-Франциско (США), в Інституті загальної фізіології Університету в Павії (Італія), в Університеті Монаш (Австралія), в Фармакологічному Інституті в Братиславі (Чехословаччина) та в багатьох інших лабораторіях світу. На території колишнього Радянського Союзу цей напрям посилено розвивався лише в лабораторії В.І. Скока та в Інституті фізіології АН Білоруської РСР [1, арк. 1].

Завдяки застосуванню різноманітних методів досліджень В.І. Скоком було досліджено велику кількість гангліїв вегетативної нервової системи. Було отримано карти провідних шляхів раніше не досліджених гангліїв – сонячного сплетення, поперекових симпатичних гангліїв, циліарного та крилопіднебінного ганглія. Ним було з'ясовано, що через десятий симпатичний ганглії у його симпатичну гілку проходять дві системи провідних шляхів. До першої системи належать шляхи, волокна яких мають порівняно високі збудливість і швидкість проведення збудження. До другої системи належать шляхи гангліїв, волокнам яких властива низька збудливість і мала швидкість проведення збудження. На думку вченого, прегангліонарним волокнам жаби, як і прегангліонарним волокнам теплокровних властивий феномен мультиплікації [18, с. 154]. Зокрема, встановлено, що функцією периферичної рефлекторної дуги, котра замикається в гангліях сонячного сплетіння, є гальмування моторики шлунку та 12-палої кишки [2]. Отримані дані лягли в подальшому в основу розробки нових методів у лікуванні виразкової хвороби шлунку.

У працях, опублікованих у 1966 р., В.І. Скок наводить дані досліджень конвергенції у верхньому шийному симпатичному ганглії кішки. Він зазначає, що конвергенція (або сходження кількох прегангліонарних волокон до одного нейрона) властива симпатичним гангліям ссавців значно більшою мірою, ніж симпатичним гангліям нижчих тварин. Конвергенція збудження відображає ту переробку, якої зазнає імпульсація на «вході» ганглія, перш ніж з'явиться на «виході». В.І. Скок наводить дані досліджень закордонних дослідників, у яких зазначається, що кожна з чотирьох груп прегангліонарних волокон з'єднується синаптично з певною групою нейронів ганглія, а ці групи відрізняються одна від одної тривалістю синаптичної затримки і швидкістю проведення збудження в аксонах.

Вивчення конвергенції в симпатичних гангліях методом відведення потенціалу дії не було ефективним, оскільки призводило до роботи з сумарним ефектом збудження багатьох нейронів. Більш перспективним у цьому випадку було застосування внутрішньоклітинного відведення. Серед великої кількості дослідів за допомогою відведення від симпатичних гангліїв конвергенцію вивчено не було [19, с. 722].

Слід відзначити, що дослідниками станом на 1966 р. не було відомо, яке функціональне значення має конвергенція різних груп прегангліонарних волокон на одному й тому ж нейроні. У працях В.І. Скока лише зазначається одне наукове дослідження Бішопа і Хайнбекера. Ці дослідники виявили, що звуження судин ока і вуха та скорочення піломоторних м'язів відбувається при збудженні волокон шийного симпатичного нерва [19, с. 726].

Ці дослідження призвели до уявлення про вегетативні ганглії як про самостійні інтегративні центри, які працюють без участі властивих центральній нервовій системі процесів гальмування.

Відповідний принцип, висвітлений у дослідженнях В.І. Скока, чітко простежується в функціонуванні штучної нейронної мережі. В штучних нейронних мережах виділяють три типи нейронів залежно від функцій, які вони виконують у мережі: вхідні нейрони; приховані нейрони; вихідні нейрони [6, с. 13]. На вхідні нейрони подаються сигнали,

котрі масштабуються; приховані нейрони створюють основу нейронної мережі й виконують необхідні перетворення сигналів; значення, розраховані вихідними нейронами, є результатами роботи нейронної мережі [20, с. 15].

Розуміння функціонування нейрона і картини його зв'язків дозволило дослідникам створити математичні моделі для перевірки своїх теорій. У перших же роботах з'ясувалося, що ці моделі не тільки повторюють функції мозку, але і здатні виконувати функції, що мають свою власну цінність. Тому виникли й залишаються до сьогодні дві взаємозбагачуючі цілі нейронного моделювання: перша – зрозуміти функціонування нервової системи людини на рівні фізіології і психології, друга – створити обчислювальні системи (штучні нейронні мережі), які виконують функції, схожі з функціями мозку [12, с. 42].

Можливості використання обчислень у сферах, які до цього стосувалися лише галузі людського інтелекту, функціонування машин, здатних навчатися та запам'ятовувати, нагадує процеси мислення людини і наповнює новим змістом термін «штучний інтелект». Типовими задачами, котрі можуть бути вирішеними за допомогою нейронних мереж та нейрокомп'ютерів, є: задача класифікації, автоматизація прогнозування, автоматизація процесу ухвалення рішень, управління, кодування і декодування інформації, розпізнавання образів та ін.

Нейронні мережі можуть використовуватися майже в усіх галузях і сферах діяльності людини: економіці, медицині, зв'язку і безпеці охоронних систем, обробці інформації [10, с. 67]. Дуже важливими є розробки медичних систем, які консультують лікарів в екстрених ситуаціях, роботів-маніпуляторів для виконання точних дій у ході хірургічних операцій.

Відділ, яким беззмінно впродовж 1970–2003 рр. керував академік В.І. Скок, на даний час носить назву Відділу фізіології нейронних мереж, Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця. Тут вивчаються актуальні питання сучасної фізіології центральної та периферичної нервових систем і біофізики клітинних мембран: досліджуються електрофізіологічні, біофізичні та фармакологічні властивості окремих і синаптично зв'язаних нейронів, механізми квантового вивільнення нейромедіаторів у синаптичних з'єднаннях, внутрішньоклітинна кальцієва сигналізація. Крім того, у відділі організовано наукову базу для підготовки студентів (бакалаврів і магістрів) Київської філії МФТІ, Фізико-технічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» і Києво-Могилянської академії [3].

Таким чином, у результаті дослідження з'ясовано, що наукова робота В.І. Скока, пов'язана з дослідженням властивостей провідних шляхів автономної нервової системи, дала змогу встановити принципи координації найважливіших відділів нервової системи (організація провідних шляхів автономної нервової системи та наявність феномену мультиплікації у вегетативних гангліях). В.І. Скоку вдалося довести унікальність будови нервових клітин автономної нервової системи та дослідити принципи механізмів входу, обробки та передачі електричного струму (інформації), на яких побудована й робота штучних нейронних мереж.

Оскільки нейрофізіологія надає науковцям розширене розуміння дії нейронів, а технологія обчислень постійно вдосконалюється, розробники мереж мають необмежений простір для вдосконалення моделей біологічного мозку. Дослідження нервової системи людини і тварин неодноразово приводили до нових підходів у створенні штучних нейронних мереж і на даний час успішно застосовуються для вирішення величезної кількості різних прикладних задач. Перспективи подальших розвідок у даному напрямку полягають у детальному дослідженні досягнень нейрофізіології, які є передумовами створення штучного інтелекту, побудованого на принципах біологічних нейронів і механізмах природного мислення.

ДЖЕРЕЛА ТА ЛІТЕРАТУРА

1. Архів Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця. Оп. 1. Од. зб. 1243. 126 арк.
2. Буц М.А. Наукові пошуки академіка В.І. Скока в галузі фармакології // Гілея: науковий вісник : зб. наук. пр. Київ: «Видавництво «Гілея», 2016. Вип. 111 (8). С. 103–105.
3. Відділ фізіології нейронних мереж [Електронний ресурс] // Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України : [сайт]. URL: <http://biph.kiev.ua/uk> (дата звернення 17.03.2018).
4. Інститут фізіології ім. А.А. Богомольця / АН УРСР [Отв. ред. П.Г. Костюк]. Київ : Наукова думка, 1976. 78 с.
5. Кононюк А.Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми. Київ: «Корнійчук», 2008. 446 с.
6. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. 2-е изд. Москва, 2002. 382 с.
7. Лопатко О., Микитин І. Нейронні мережі як засіб прогнозування значення температури за перехідним процесом // Вимірювальна техніка та метрологія. 2016. № 77. С. 65–70.
8. Новотарський М.А., Нестеренко Б.Б. Штучні нейронні мережі: обчислення // Праці Інституту математики НАН України. Т. 50. Київ: Ін-т математики НАН України, 2004. 408 с.
9. Пурниць О.Є. Деякі сучасні аспекти дослідження автономної нервової системи // Фізіологічний журнал. 2008. № 5. С. 90–98.
10. Руденко О.Г., Бодянский Є.В. Штучні нейронні мережі: навч. посіб. Київ: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 404 с.
11. Серков Ф.Н. Научная деятельность Д.С. Воронцова и ее значение для развития отечественной электрофизиологии и нейрофизиологии // Современные проблемы общей физиологии возбудимых образований. Сборник работ, посвященный памяти акад. АН УССР Д.С. Воронцова. Киев: Наукова Думка, 1978. 196 с.
12. Скок В.И. Физиология вегетативных ганглиев: монография. Ленинград: Наука, 1970. 236 с.
13. Скок В.И. Проведення нервового імпульсу в десятому ганглії симпатичного стовбура жаби // Фізіологічний журнал АН УРСР. 1964. Т. 10. № 2. С. 147–155.
14. Скок В.И., Иванов О.Я., Буколова Р.П. Конвергенція у верхньому шийному симпатичному ганглії кішки // Фізіологічний журнал АН УРСР. 1966. Т. 12. № 6. С. 721–726.
15. Уоссермен Ф. Нейро-компьютерная техника: Теория и практика / пер. с англ. Ю.А. Зуев, В.А. Точенов. Москва: Мир, 1992. 184 с.

REFERENCES

1. *Arkhiv Instytutu fiziologii im. O.O. Bohomoltsia*. Descr. 1. Un.st. 1243. 126 sh.
2. Buts M.A. *Naukovi poshuky akademika V.I. Skoka v haluzi farmakolohii* [Scientific searches of Academician V.I. Skok in the field of pharmacology]. Hileia: naukovyi visnyk : zb. nauk. pr. Kyiv: «Vydavnytstvo «Hileia», 2016, vyp. 111 (8), pp. 103–105.
3. *Viddil fiziologii neuronnykh merezh* [Department of Physiology of Neural Networks] [Elektronnyi resurs]. Institute of Physiology O. Bogomolets National Academy of Sciences of Ukraine : [sait]. URL : <http://biph.kiev.ua/uk> (date of treatment: 17.03.2018).
4. Hittik L., Shvaiko S., Bened V. *Rozvytok fiziologii liudyny i tvaryn v Ukraini*. [Development of physiology of humans and animals in Ukraine]. Lutsk, 1998, 88 p.
5. *Institut fiziologii im. A.A. Bogomol'tsa* [Bohomolets Institute of Physiology] / AN USSR [Otv. red. P.G. Kostyuk]. Kyiv : Scientific thought, 1976, 78 p.
6. Kazimka L.O. *Rol' VIII Vsesoyuznogo z'yizdu fiziologiv, biokhimikov ta farmakologiv v istoriyi fiziologichnoyi nauky* [The role of the VIII All-Union Congress of Physiologists, Biochemists and Pharmacologists in the history of physiological science] // Essays on the history of science and technology. 2002, vyp. 44, pp. 115–118.
7. Kononiuk A.Yu. *Neironi merezhi i henetychni alhorytmy* [Neural network and genetic algorithms]. Kyiv: «Korniychuk», 2008, 446 p.
8. Kostyuk P.H. *Instytutu fiziolohiyi im. O.O. Bohomol'tsya NAN Ukrayiny – 70 rokiv* [Institute of Physiology named after. O. Bogomolets National Academy of Sciences of Ukraine – 70 years] Kostyuk P.H. [etc.]. *Physiological Journal*. 2004, v. 50, vol. 2, pp. 3–18.
9. Kruhlov V.V., Borysov V.V. *Iskusstvennye neyronnye seti. Teoriya i praktika* [Artificial neural networks. Theory and practice]. 2nd edition. Moscow, 2002, 382 p.

10. Lopatko O., Mykytyn I. *Neironni merezhi yak zasib prohnouvannta znachennia temperatury za perekhidnym protsesom* [Neural networks as a means of forecasting the temperature value of a transient process]. *Measuring equipment and metrology*, 2016, vol. 77, pp. 65–70.
11. Makarchenko O.F. *Za tvorchy rozvytok fiziologichnoyi nauky* [For the creative development of physiological science]. *Physiological Journal*, 1957, v. 3. vol. 5, pp. 3–17.
12. Novotarskyi M.A., Nesterenko B.B. *Shtuchni neironni merezhi: obchyslennia* [Artificial Neural Networks: Computing]. *Works of the Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine*. v. 50. Kyiv: In-t of Mathematics of the NAS of Ukraine, 2004, 408 p.
13. Purnyn O.Ye. *Deiaki suchasni aspekty doslidzhennia avtonomnoi nervovoi systemy* [Some modern aspects of the study of the autonomic nervous system]. *Physiological Journal*, 2008, vol. 5, pp. 90–98.
14. Rudenko O.H., Bodianskyi Ye.V. *Shtuchni neironni merezhi: navch. posib.* [Artificial Neural Networks: A Tutorial]. Kyiv: «Companny SMIT», 2006, 404 p.
15. Serkov F.N. *Nauchnaya deyatelnost' D.S. Vorontsova i ee znachenie dlya razvitiya otechestvennoy elektrofiziologii i neyrofiziologii* [Scientific activity D.S. Vorontsov and its importance for the development of domestic electrophysiology and neurophysiology]. *Modern problems of general physiology of excitable formations. Collection of works devoted to the memory of acadtmician Academy of Sciences of USSR D.S. Vorontsov*. Kyiv : Scientific thought, 1978, 196 p.
16. Serkov F.N. *Fiziologicheskaya nauka v USSR za 70 let Sovetskoy vlasti* [Physiological Science in the Ukrainian SSR for 70 years of Soviet power]. *Physiological Journal*, 1987, vol. 33, № 5, pp. 18–25.
17. Skok V.I. *Fiziologiya vegetativnykh gangliiv: monografiya* [Physiology of vegetative ganglia: monograph]. Leningrad: Science, 1970, 236 p.
18. Skok V.I. *Provedennia nervovoho impulsu v desiatomu hanhlii sympatychnoho stovbura zhaby* [Conducting a nerve impulse in the tenth ganglion of the sympathetic fist barrel]. *Physiological Journal AS USSR*, 1964, vol. 10, № 2, pp. 147–155.
19. Skok V.I., Ivanov O.Ya., Bukolova R.P. *Konverhentsiia u verkhnomu shynomu sympatychnomu hanhlii kishky* [Convergence in the upper cervical cat sympathetic ganglion]. *Physiological Journal AS USSR*, 1966, v. 12, vol. 6, pp. 721–726.
20. Uossermen F. *Neyro-komp'yuternaya tekhnika: Teoriya i praktika* [Neuro-Computer Engineering: Theory and Practice] / transl. from eng. Yu.A. Zuev, V.A. Tochenov. Moscow: Peace, 1992, 184 p.

Buts M. Neural networks in researches of academician V.I. Skok.

The purpose of the article is to highlight the scientific achievements of the outstanding scientist in the field of physiology of the nervous system V.I. Skok in the direction of the functioning of neural networks.

The methodology of the research is to use methodological principles common to all branches of historical science (scientific, historicism, objectivity, systematic, multifactoriality and comprehensiveness of cognition), and methods of historical knowledge with an interdisciplinary approach (historical and theoretical analysis of sources, synthesis, systematization and classification; methods for studying, comparing and generalizing historical scientific literature; problem-chronological, retrospective and personal-biographical methods). As a result of the study, it was found that V.I. Skok's scientific work related to the study of the properties of the leading paths of the autonomic nervous system made it possible to establish the principles of coordination of the most important parts of the nervous system (organization of the leading paths of the autonomic nervous system and the presence of the phenomenon of animation in autonomic ganglia). V.I. Skok managed to prove the uniqueness of the structure of the nerve cells of the autonomic nervous system and to study the principles of the mechanisms of input, processing and transmission of electric current (information) on which the artificial neural networks were built. Understanding the functioning of the neuron and the picture of its connections allowed the researchers to create mathematical models to test their theories.

Key words: *V.I. Skok, autonomous nervous system, neurophysiology, neuron, physiology, Bohomolets Institute of Physiology, artificial neural networks, artificial intelligence.*

Одержано 29.03.2018.