

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**Бречко Вероніка Олександрівна**

УДК 004.25 : 004.62

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**МОДЕЛІ ТА СТРУКТУРИ ДАНИХ НА ОСНОВІ  
АСОЦІАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ  
ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУР ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

12 – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

В.О. Бречко

Науковий керівник

Дмитрієнко Валерій Дмитрович,

доктор технічних наук, професор

Харків – 2019

## АНОТАЦІЯ

*Бречко В.О.* Моделі та структури даних на основі асоціативної пам'яті для комп'ютерних систем проектування структур технологічних процесів. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2019.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі, яка полягає в розробленні та дослідженні моделей та структур даних на основі асоціативної пам'яті для комп'ютерних систем проектування структур технологічних процесів.

Метою дисертаційної роботи є розроблення структури даних на основі асоціативної пам'яті для комп'ютерних систем проектування структур технологічних процесів.

*Об'єкт дослідження* – процеси обробки інформації з використанням асоціативної пам'яті.

*Предмет дослідження* – моделі структур даних на основі асоціативної пам'яті для комп'ютерних систем проектування структур технологічних процесів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; сформульовано мету та задачі дослідження; наведено зв'язок дисертації з науковими темами та програмами; визначено об'єкт та предмет дослідження; висвітлені положення, які визначають практичне значення отриманих результатів та їх наукову новизну; висвітлено особистий внесок здобувача в одержаних результатах, їх апробацію та публікації.

У першому розділі проведено аналіз переваг та недоліків сучасних методів зберігання та обробки інформації при проектуванні структур технологічних процесів, який показав, що існуючі методи на основі стандартного зберігання не забезпечують необхідної швидкодії для

реалізації інтелектуальних інтерфейсів.

При створенні одиничних технологічних процесів з використанням баз даних, час економиться на те, що текст переходів в тій чи іншій мірі вже присутній в базі даних, але вибір стратегії обробки, обладнання та інструменту, залишається в руках технологів. Всі необхідні дані повинні зберігатися в базі і бути доступними при необхідності отримання інформації. Створити таку базу даних дозволяють структури даних на основі асоціативної пам'яті, які можуть зберігати великий обсяг інформації та дають можливість коригувати її в процесі експлуатації. Тому виникає необхідність розробки такої асоціативної пам'яті, що дозволить зберігати та обробляти велику кількість формалізованої інформації, яка на даний час зберігається у вигляді базових структур (списки, черги, дерева та ін.). Що, в свою чергу, дозволить будувати ТП для складних, високоточних виробів, з можливістю коригування даних в процесі побудови ТП та асоціювати з однією деталлю декілька технологічних процесів.

В роботі пропонується для вирішення цієї задачі виконати розроблення та дослідження нейронних мереж асоціативної пам'яті, моделей та структур даних для комп'ютерної системи проектування технологічних процесів.

Другий розділ присвячено розробці нових нейронних мереж на основі двонаправленої асоціативної пам'яті. Запропоновано нейронну мережу  $N$ -направленої асоціативної пам'яті, що складається з  $N$  шарів нейронів та дозволяє зберігати множинні асоціації. Запропоновано нейронні мережі асоціативної пам'яті, що здатні відновлювати по вхідній інформації безліч асоціативних вхідних зображень, по множині вхідних даних один вихідний елемент та по комбінації вхідних елементів множину вихідних. Тобто розроблена асоціативна пам'ять  $1 \rightarrow N$ ,  $N \rightarrow 1$  та  $N_1 \rightarrow N_2$ . Запропоновано багат шарову асоціативну пам'ять з керуючими нейронами, що дозволяє будувати ланцюги асоціативних даних з можливістю

коригування в процесі функціонування мережі.

Розроблені нейронні мережі на основі асоціативної пам'яті, які можуть бути використані при проектуванні складних нейронних мереж деревовидної структури, що можуть використовуватися при побудові системи зберігання та обробки даних в інформаційних системах.

У третьому розділі розглядається розроблення нових видів асоціативної пам'яті, які дозволяють зберігати інформацію на основі базових структур та комбінувати їх для ефективної обробки інформації. При побудові складної системи зберігання інформації в якості елементів пам'яті використовуються не окремі осередки, а їх об'єднання, що зберігають такі структури як списки, масиви, черги і т.п. Кожна з них являє собою структурований елемент, завдяки якому забезпечується пошук і обробка даних, що зберігаються в ньому. Багаторівневе комбінування цих елементів, кожен з яких можна представити як деяку множину елементів асоціативної пам'яті, є перспективним для реалізації інтелектуальних інтерфейсів, логічного висновку, обробки зображень, розпізнавання образів.

У четвертому розділі розглядаються моделі структур даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті для проектування структур технологічних процесів. Запропоновано структури даних на основі асоціативної пам'яті для зберігання інформації, що необхідна для проектування структури технологічного процесу. Запропоновано ієрархічну нейронну мережу на основі асоціативної пам'яті для вибору обладнання для однієї операції технологічного процесу.

Результати роботи впроваджені:

– в державному підприємстві «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості» (м. Харків) при виготовленні високоточних виробів;

– в навчальному процесі НТУ «ХП» на кафедрі обчислювальної техніки та програмування при викладанні учбових дисциплін: «Основи

нейрокомп'ютингу», «Системи штучного інтелекту», а також в курсових, дипломних та наукових роботах студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

*Ключові слова:* структури даних, список, черга, дерево, граф, асоціативна пам'ять, нейронна мережа, технологічний процес.

Список публікацій здобувача:

1. Бречко В.О. Нейронные сети Хемминга и Хебба, способные дообучаться / В.Д.Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2013. – № 19 (992). – С. 30-45.

2. Бречко В.О. Трехслойный перцептрон, способный дообучаться / В.Д.Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Автоматизированные технологии и производства: сб. научн. тр. / под ред. Б.Н. Парсункина. Вып. 6. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 12–21.

3. Бречко В.О. Применение нейронной сети многослойной ассоциативной памяти для оптимального выбора оборудования технологического процесса / В.Д.Дмитрієнко, И.П. Хавина, В.О. Бречко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2015. – № 32 (1141). – С. 51–59.

4. Бречко В.О. Многослойная нейросетевая память, хранящая цепочки ассоциаций / В.Д.Дмитрієнко, Р.П. Мигущенко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2015. – № 33 (1142). – С. 48–58.

5. Бречко В.О. Моделирование многослойной, многонаправленной и древовидной ассоциативной памяти / В.Д.Дмитрієнко, С.Ю. Леонов, В.О. Бречко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник

наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2018. – № 42 (1318). – С. 148–159.

6. Бречко В.О. Використання асоціативної пам'яті при проектуванні технологічного процесу / В.Д.Дмитрієнко, С.Ю. Леонов, В.О. Бречко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2019. – Вип. 3 (55). – С. 123–127.

7. Бречко В.О. Ассоциативная нейронная сеть АРТ / В.Д.Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Сборник трудов Международной молодежной конференции «Прикладная математика, управление и информатика». – Белгород: ИД «Белгород», 2012. – Т. 1. – С. 115-118.

8. Бречко В.О. Системы поддержки принятия решений на основе иерархических нейронных сетей адаптивной резонансной теории / В.Д.Дмитрієнко, В.О. Бречко // Проблеми інформатики та моделювання. Тезиси XII Міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – С. 15.

9. Бречко В.О. Сеть Хебба, способная дообучаться / В.Д.Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси XIII міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2013. – С. 29.

10. Бречко В.О. Стабильно-пластичные нейронные сети, использующие расстояние Хемминга / В.Д.Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси XIII міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2013. – С. 30.

11. Бречко В.О. Многослойная ассоциативная память в задачах синтеза технологических процессов / В.Д.Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформатика, управління та штучний інтелект.

Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ "ХПІ", 2014. – С. 26.

12. Бречко В.О. Многослойная ассоциативная память на основе искусственных нейронных сетей / В.Д.Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2015. – С. 40.

13. Бречко В.О. Определение структуры технологического процесса с помощью нейронной сети многослойной ассоциативной памяти / В.Д.Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси XV міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2015. – С. 40.

14. Бречко В.О. Синтез технологических процессов на основе нейронных сетей ассоциативной памяти / В.Д.Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ "ХПІ", 2015. – С. 27.

15. Бречко В.О. Задача синтеза технологического процесса лезвийной обработки партии деталей / В.Д.Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2016. – С. 132.

16. Бречко В.О. Нейронные сети на основе двунаправленной ассоциативной памяти / В.О. Бречко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ "ХПІ", 2016. – С. 8.

17. Бречко В.О. Нейронные сети ассоциативной памяти в технологической подготовке производства / В.Д.Дмитрієнко, В.О. Бречко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-

технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ "ХПІ", 2017. – С. 40.

18. Бречко В.О. Использование ассоциативной памяти при проектировании технологического процесса / В.О. Бречко // Проблемы информатики і моделювання. Тезиси сімнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2017. – С. 14.

19. Бречко В.О. Нейросетевая база знаний для систем проектирования технологических процессов / В.Д.Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей ХХV міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2017. – С. 78.

20. Бречко В.О. Использование ассоциативной памяти в обработке данных / В.Д.Дмитрієнко, С.Ю. Леонов, В.О. Бречко // Проблемы информатики і моделювання. Тезиси вісімнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2018. – С. 37.

21. Бречко В.О. Перспективні види комп'ютерної асоціативної пам'яті / В.Д.Дмитрієнко, В.О. Бречко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей ХХVІ міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2018. – С. 171.

22. Бречко В.О. Использование структурированной ассоциативной памяти / В.О. Бречко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ "ХПІ", 2018. – С. 16.

23. Пат. на винахід 108712 Україна, МПК G06G 7/60. Пристрій багатошарової асоціативної пам'яті з керуючими нейронами / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, І.П. Хавіна, В.О. Бречко (Україна); заявник та володар патенту НТУ «ХПІ». – № а 2014 04330; заявл. 22.04.14; опубл. 25.05.15, бюл. № 10. – 11 с.

24. Пат. на винахід 108947 Україна, МПК G06G 7/60. Пристрій багатошарової двонаправленої асоціативної пам'яті / В.Д. Дмитрієнко,



О.Ю. Заковоротний, І.П. Хавіна, В.О. Бречко (Україна); заявник та володар патенту НТУ «ХП». – № а 2014 02402; заявл. 11.03.14; опубл. 25.06.15, бюл. № 12. – 8 с.

25. Пат. на винахід 108949 Україна, МПК G06G 7/60. Пристрій *N*-направленої асоціативної пам'яті / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко (Україна); заявник та володар патенту НТУ «ХП». – № а 2014 02642; заявл. 17.03.14; опубл. 25.06.15, бюл. № 12. – 8 с.

26. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма для дослідження нейромережевої багат шарової двонаправленої асоціативної пам'яті» / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 57996. – Зареєстр. в Держ. службі інтелектуальної власності України 05.01.15.

## ABSTRACT

*Brechko V.O.* Models and data structures based on associative memory for computer systems of technological processes structure design. Manuscript.

There is the dissertation of the obtaining the scientific degree of the technical sciences candidate in specialty 05.13.05 – computer systems and components – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2019.

The dissertation solves the scientific and practical problem of development and researching models data structures based on associative memory for computer systems of technological processes structure design.

The purpose of the dissertation is the development and researching of data structures based on associative memory for computer systems of technological processes structure design.

*The object of study* is the processes of processing information using associative memory.

*The subject of study* is the models of data structures based on associative memory for computer systems of technological processes structure design/

The introduction substantiates the relevance of the dissertation work topic; the purpose and tasks of research are formulated; the connection of the dissertation with scientific themes and programs is given; the object and the subject of the research are determined; the provisions, that determine the practical value of the obtained results and their scientific novelty, are highlighted; the personal contribution of the applicant in the obtained results, their approbation and publication are highlighted.

In the first section the analysis of the advantages and disadvantages of current methods of storing and processing information for the design of structures processes, which showed that existing methods based on standard storage do not provide the performance required for the implementation of intelligent interfaces.

When creating single technological processes using databases, time is saved by the fact that the transition text is already present in the database to some

extent, but the choice of processing strategy, equipment and tools remains in the hands of technologists. All necessary data should be stored in the database and be accessible when necessary to obtain information. Such a database is made possible by associative memory data structures, which can store a large amount of information and allow it to be corrected during operation. Therefore, there is a need to develop associative memory that will allow the storage and processing of a large amount of formalized information, which is currently stored as basic structures (lists, queues, trees, etc.). This, in turn, will allow the construction of TP for complex, high-precision products, with the ability to correct data in the process of TP construction and associate several technological processes with one detail.

In order to solve this problem, the paper proposes to develop and research neural networks of associative memory, models and data structures for the computer system of technological process design.

The second section is devoted to the development of new neural networks based on bidirectional associative memory. A neural network of N-directed associative memory, consisting of N layers of neurons and allowing multiple associations to be stored, is proposed. Associative memory neural networks have been proposed that are capable of restoring a plurality of associative input images by input, by multiple inputs, by one output element, and by a combination of input elements by multiple outputs. That is, the associative memory  $1 \rightarrow N$ ,  $N \rightarrow 1$  and  $N_1 \rightarrow N_2$  were developed. Multilayer associative memory with control neurons is proposed, which allows the construction of associative data circuits with the possibility of correction during the operation of the network.

Developed neural networks based on associative memory that can be used in the design of complex neural networks of tree structure that can be used in the construction of storage and data processing systems in information systems.

The second section is devoted to the development of new types of

associative memory that allow us to store information based on underlying structures and combine them for efficient information processing. When constructing a complex system of information storage, the memory elements are used not by individual cells, but by their associations, which store such structures as lists, arrays, queues, etc. Each of them is a structured element by which search and processing of the data stored in it is provided. The multilevel combination of these elements, each of which can be represented as some of the elements of associative memory, is promising for the implementation of intelligent interfaces, logical inference, image processing, pattern recognition.

The fourth section discusses the model data structures based on neural networks, associative memory structures to design processes. Data structures based on associative memory are proposed for storing the information needed to design the process structure. A hierarchical neural network based on associative memory is proposed to select equipment for a single process operation.

The results of the dissertation work are introduced:

- in the state enterprise «State project and scientific aviation industry research institute» in the manufacture of high-precision products;
- in the educational process of the NTU «KhPI» at the department of computer engineering and programming during the teaching of the academic disciplines: «Fundamentals of Neurocomputing», «Artificial intelligence systems», and also in courses, thesis and scientific works of students of the specialty 123 «Computer engineering».

*Keywords:* data structures, list, queue, tree, graph, associative memory, neural network, technological process.

#### LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT

1. Brechko V.O. Hemming and Hebb neural networks capable of learning / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, V.O. Brechko // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Collection of scientific works. Series:

Computer Science and Modeling. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2013. – № 19 (992). – P. 30-45.

2. Brechko V.O. A three-layer perceptron capable of learning / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, V.O. Brechko // Electrotechnical systems and complexes. – Magnitogorsk : Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014. – P. 12–21.

3. Brechko V.O. The use of a multilayer associative memory neural network for the optimal selection of process equipment / V. D. Dmitrienko, I. P. Khavina, V.O. Brechko // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Collection of scientific works. Series: Computer Science and Modeling. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2015. – № 32 (1141). – P. 51-59.

4. Brechko V.O. Multilayer neural network memory storing association chains / V. D. Dmitrienko, R.P. Migushchenko, A. Yu. Zakovorotniy, V.O. Brechko // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Collection of scientific works. Series: Computer Science and Modeling. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2015. – № 33 (1142). – P. 48–58.

5. Brechko V.O. Simulation of multilayer, multidirectional and tree associative memory / V. D. Dmitrienko, S. Yu. Leonov, V.O. Brechko // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Collection of scientific works. Series: Computer Science and Modeling. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2018. – № 42 (1318). – P. 148–159.

6. Brechko V.O. The use of associative memory in the design of the process / V. D. Dmitrienko, S. Yu. Leonov, V.O. Brechko // Systems of control, navigation and communication. – Poltava : Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 2019. – № 3 (55). – P. 123 – 127.

7. Brechko V.O. Associative neural network ART / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, V.O. Brechko // Proceedings of the International Youth Conference "Applied Mathematics, Management and Computer Science". - Belgorod: Publishing House "Belgorod", 2012. – T. 1. – P. 115-118.

8. Brechko V.O. Decision support systems based on hierarchical neural networks of adaptive resonant theory / V. D. Dmitrienko, V.O. Brechko // Problems of computer science and modeling. Abstracts of the XII International Scientific and Technical Conference. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2012. – P. 15.

9. Brechko V.O. Retraining Hebb Network / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, V.O. Brechko // Problems of computer science and modeling. Abstracts of the XIII International Scientific and Technical Conference. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2013. – P. 29.

10. Brechko V.O. Stable-plastic neural networks using Hamming distance / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, V.O. Brechko // Problems of computer science and modeling. Abstracts of the XIII International Scientific and Technical Conference. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2013. – P. 30.

11. Brechko V.O. Multilayer associative memory in the problems of synthesis of technological processes / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, I. P. Khavina, V.O. Brechko // Computer science, management and artificial intelligence. Materials of the III International Scientific and Technical Conference of Students, Masters and Postgraduate Students. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – P. 26.

12. Brechko V.O. Multilayer associative memory based on artificial neural networks / V. D. Dmitrienko, I. P. Khavina, V.O. Brechko // Information technology: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXIV International Scientific and Practical Conference. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2015. – P. 40.

13. Brechko V.O. Determination of the structure of the technological process using a neural network of multilayer associative memory / V. D. Dmitrienko, I. P. Khavina, V.O. Brechko // Problems of computer science and modeling. Abstracts of the XV International Scientific and Technical Conference. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. – P. 40.

14. Brechko V.O. Synthesis of technological processes based on associative memory neural networks / V. D. Dmitrienko, I. P. Khavina,

V.O. Brechko // Computer science, management and artificial intelligence. Materials of the International Scientific and Technical Conference of Students, Masters and Postgraduate Students. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2015. – P. 27.

15. Brechko V.O. The task of synthesis of the technological process of blade processing of a batch of parts / V. D. Dmitrienko, I. P. Khavina, V.O. Brechko // Information technology: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXIV International Scientific and Practical Conference. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2016. – P. 132.

16. Brechko V.O. Bidirectional Associative Memory Neural Networks / V.O. Brechko // Computer science, management and artificial intelligence. Materials of the International Scientific and Technical Conference of Students, Masters and Postgraduate Students. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2016. – P. 8.

17. Brechko V.O. Associative memory neural networks in technological preparation of production / V. D. Dmitrienko, V.O. Brechko // Computer science, management and artificial intelligence. Materials of the International Scientific and Technical Conference of Students, Masters and Postgraduate Students. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2017. – P. 40.

18. Brechko V.O. Using associative memory when designing a process / V.O. Brechko // Problems of computer science and modeling. Abstracts of the XV International Scientific and Technical Conference. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – P. 14.

19. Brechko V.O. Neural network knowledge base for process design systems / V. D. Dmitrienko, I. P. Khavina, V.O. Brechko // Information technology: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXIV International Scientific and Practical Conference. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2017. – P. 78.

20. Brechko V.O. Using associative memory in data processing / V. D. Dmitrienko, S. Yu. Leonov, V.O. Brechko // Problems of computer science and modeling. Abstracts of the XV International Scientific and Technical Conference. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2018. – P. 37.

21. Brechko V.O. Perspective types of computer associative memory / V. D. Dmitrienko, V.O. Brechko // Information technology: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXIV International Scientific and Practical Conference. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2018. – P. 171.

22. Brechko V.O. Using a structured associative memory / V.O. Brechko // Computer science, management and artificial intelligence. Materials of the International Scientific and Technical Conference of Students, Masters and Postgraduate Students. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2018. – P. 16.

23. Pat. for the invention 108712 Ukraine, IPC G06G 7/60. A multilayer associative memory device with control neurons / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, I. P. Khavina, V.O. Brechko (Ukraine) // applicant and patent holder of NTU «KhPI». – № a 2014 04330; stated 22.04.14; published 25.05.15, bul. № 10. – 11 p.

24. Pat. for the invention 108947 Ukraine, IPC G06G 7/60. A multilayer bidirectional associative storage device / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, I. P. Khavina, V.O. Brechko (Ukraine) // applicant and patent holder of NTU «KhPI». – № a 2014 02402; stated 11.03.14; published 25.06.15, bul. № 12. – 8 p.

25. Pat. for the invention 108949 Ukraine, IPC G06G 7/60. N-Directional Associative Memory / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, V.O. Brechko (Ukraine) // applicant and patent holder of NTU «KhPI». – № a 2014 02642; stated 17.03.14; published 25.06.15, bul. № 12. – 8 p.

26. Computer program "Computer program for researching neural network multilayer bidirectional memory" / V. D. Dmitrienko, A. Yu. Zakovorotniy, V.O. Brechko // Certificate of copyright registration of a work № 57996. . – Sign up in the State. the Intellectual Property Service of Ukraine 05.01.15.



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЗБЕРІГАННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	12
1.1 Комп'ютерна асоціативна пам'ять .....	12
1.2 Асоціативні нейронні мережі.....	14
1.2.1 Асоціативна пам'ять .....	14
1.2.2 Двонаправлена асоціативна пам'ять .....	16
1.3 Базові структури для зберігання інформації .....	19
1.3.1 Зв'язні списки .....	19
1.3.2 Черги.....	21
1.3.3 Множини .....	22
1.3.4 Асоціативний масив (map) .....	23
1.3.5 Хеш-таблиці.....	23
1.3.6 Двійкове дерево пошуку.....	24
1.3.7 Префіксне дерево .....	25
1.3.8 Бінарна купа.....	26
1.3.9 Графи .....	27
1.4 Обробка та зберігання інформації про технологічний процес механообробки.....	29
1.5 Висновки до розділу 1 .....	35
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА НОВИХ ВИДІВ АСОЦІАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ .....	37
2.1 Нейронна мережа $N$ -направленої асоціативної пам'яті .....	37
2.1.1 Архітектура $N$ -направленої асоціативної пам'яті .....	37

2.1.2 Приклад функціонування мережі $N$ -направленої асоціативної пам'яті .....	41
2.1.3 Програмний компонент, що ілюструє роботу мережі $N$ -направленої асоціативної пам'яті .....	45
2.1.4 Загальний алгоритм функціонування $N$ -направленої асоціативної пам'яті при подачі зображення на шар $X$ -нейронів .....	47
2.1.5 Алгоритм функціонування мережі при подачі зображення на один з шарів $Y^1, Y^2, \dots, Y^N$ .....	52
2.2 Нейронні мережі, що моделюють асоціації, викликані декількома вхідними векторами .....	55
2.3 Архітектура багатошарової двонаправленої асоціативної пам'яті. ....	59
2.3.1 Алгоритм функціонування мережі багатошарової двонаправленої асоціативної пам'яті при подачі зображення на перший сенсорний шар .....	64
2.3.2 Приклад функціонування мережі багатошарової двонаправленої асоціативної пам'яті .....	71
2.4 Архітектура багатошарової асоціативної пам'яті з керуючими нейронами .....	75
2.4.1 Алгоритм функціонування мережі при подачі зображення на перший сенсорний шар та керуючі нейрони .....	79
2.4.2 Приклад функціонування мережі .....	87
2.5 Висновки до розділу 2 .....	92
<b>РОЗДІЛ 3 МОДЕЛІ СТРУКТУР ДАНИХ НА ОСНОВІ АСОЦІАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ</b> .....	94
3.1 Порівняння асоціативної пам'яті зі звичайним зберіганням .....	94
3.2 Моделі списків на основі асоціативної пам'яті .....	101
3.3 Черга для асоціативного зберігання даних .....	107

3.4 Деревовидна асоціативна пам'ять .....	110
3.5 Висновки до розділу 3 .....	114
<b>РОЗДІЛ 4 ОПИС СТРУКТУРИ ТП ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОМЕРЕЖ АСОЦІАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ .....</b>	<b>116</b>
4.1 Проектування структури технологічного процесу .....	116
4.2 Опис деталі .....	119
4.3 Технологічний процес виготовлення деталі «Блок циліндрів».....	123
4.4 Нейронні мережі асоціативної пам'яті для синтезу структур ТП та зберігання даних .....	129
4.5 Висновки до розділу 4 .....	131
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>134</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>136</b>
<b>ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ .....</b>	<b>146</b>
<b>ДОДАТОК Б. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>151</b>