

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Збірник наукових праць

ВИПУСК 1 (1)

Заснований у жовтні 2016 року

Одеса – 2017

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 1 (1)
2017

Заснований у жовтні 2016 року

Виходить 4 рази на рік

Свідоцтво Міністерства юстиції України
про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 22494-12394 ПР від 04.10.2016 р.

Засновник і видавець:
внз «Одеський національний морський університет»
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34

Редакційна колегія:
д-р техн. наук, проф. *С.В. Руденко* – головн. редактор
д-р. техн. наук, проф. *А.І. Рибак* – заст. головн. редактора
А.В. Бондар – відповід. секретар
Міжнародні члени редколегії:
Семенов Ю.І. – д-р техн. наук, проф.,
зав.каф. у технічному університеті Померанії, Щецин, *Польща*
Бабасєв І.А. (Азербайджан) – д-р техн. наук, проф.,
президент Азербайджанської асоціації управління проектами, Азербайджан

д-р фіз.-мат. наук, проф. <i>Андронов І.Л.</i>	д-р економ. наук, проф. <i>Махуренко Г.С.</i>
д-р техн. наук, проф. <i>Варбанець Р.А.</i>	канд.економ.наук, доцент <i>Михайлова Ю.В.</i>
д-р техн. наук, проф. <i>Вичужанін В.В.</i>	канд.техн.наук, доцент <i>Немчук О.О.</i>
д-р техн. наук, проф. <i>Дубровський М.П.</i>	канд.техн.наук, доцент <i>Пітерська В.М.</i>
д-р техн. наук, проф. <i>Єгунов К.В.</i>	д-р економ. наук, проф. <i>Постан М.Я.</i>
д-р економ. наук, проф. <i>Жихарєва В.В.</i>	д-р техн. наук, проф. <i>Рогачко С.І.</i>
д-р техн. наук, проф. <i>Кириллова О.В.</i>	канд.економ.наук, доцент <i>Сильванська Г.М.</i>
д-р техн. наук, проф. <i>Конопльов А.В.</i>	канд.техн.наук, доцент <i>Хотін С.Ю.</i>
д-р економ. наук, проф. <i>Ланкіна І.О.</i>	д-р техн. наук, проф. <i>Шибасєв О.Г.</i>

Рекомендовано до друку Вченою радою
Одеського національного морського університету
(протокол № 2 від 27 вересня 2017 р.)

Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв,
назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей.

Висловлені у цих статтях думки можуть не збігатися
з точкою зору редакційної колегії, не покладають на неї ніяких зобов'язань.
Передруки і переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції.

**КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ,
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

ЦАРЁВ А.П.	
Быстрые алгоритмы: наука, искусство, ремесло	5
РЫХЛИК А.	
Возможности использования решения промышленного оборудования в системе домашней автоматизации	12

**ІНФОРМАЦІЙНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ
ОБРОБКИ ДАНИХ І УПРАВЛІННЯ**

КОРАБЛЕВ Н.М., СОЛОВЬЕВ Д.Н., МАЛЮКОВ Р.Р.	
Интеллектуальная эволюционная система поддержки принятия решений на основе нейросетевого и иммунного подходов	22
МАМЕДОВ Р.К., НОВРУЗОВА Р.З.	
Повышение точности формирования заданной толщины полиэтиленовых труб при производстве в экструзионных линиях	36
ВЫЧУЖАНИН В.В., КОНОВАЛОВ С.Н.	
Метод противоаварийного управления сложными техническими системами	45
БОДЯНСЬКИЙ Є.В., ВИНОКУРОВА О.А.	
ПЕЛЕСЬКО Д.Д., РАШКЕВИЧ Ю.М.	
ON-LINE НЕО-ФА33І автоенкодер для систем з глибин навчання на базі НЕЙРО-ФА33І мережі Колмогорова	60
МЕЩЕРЯКОВ В.И., МЕЩЕРЯКОВ Д.В., ЧЕРЕПАНОВА Е.В.	
Система формирования бестеневого инфракрасного поля для процедур пелоидотерапии	68
МАЗУРОК Т.Л.	
Інтелектуальна технологія синергетичного управління	78
ШИБАЕВ Д.С., ВЫЧУЖАНИН В.В., ШИБАЕВА Н.О.	
Анализ большого объема данных о состоянии высокотехнологического оборудования	90
БОДЯНСЬКИЙ Є.В., ДЕЙНЕКО А.О., ЖЕРНОВА П.Є., РЄПН В.О.	
Онлайн модифікація методу Х-середніх на основі ансамблю самоорганізованих мап Т. Кохонена	96
БОДЯНСЬКИЙ Є.В., ПЕРОВА І.Г., СТОЙКА А.В.	
Оптимізація оцінювання інформативності медичних показників на основі гібридного підходу	108
ШИБАЕВА Н.О., ВЫЧУЖАНИН В.В., ШИБАЕВ Д.С.	
Концепция DATA MINING построения поисковых запросов по большому количеству критериев	116

**КУРГАНСЬКИЙ А.В., АСТІСТОВА Т.І., КУРГАНСЬКА М.М.,
СВІТЕЛЬСЬКИЙ І.В.**

Система моніторингу та оцінювання сумісності елементів бойового екіпірування в режимі реального часу 123

ВЕЛИКОДНИЙ С.С., ТИМОФЄЄВА О.С.

Парадигма подання лінгвістичного забезпечення за допомогою породжувальних граматик 128

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ
В ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМАХ****ЧУПРИНКА В.І., ЗЕЛІНСЬКИЙ Г.Ю., ЧУПРИНКА Н.В.**

Удосконалений метод інтерактивного проектування та коригування раціональних схем розкрою плоских геометричних об'єктів 136

ПОСТАН М.Я.

До проблеми моделювання та оптимізації ненадійної мережі масового обслуговування 145

КИРИЛЛОВ В.Х., ШИРШКОВ А.К.

Математическое моделирование нелинейных волн на поверхности стекающей плёнки жидкости 149

МАМЕДОВ Р.К., РАГИМОВА Е.К.

Математическая модель системы дыхания 155

БОЙКО В.Д.

Событийно-ориентированное моделирование восстановления работоспособности сложных организационно-технических систем 161

**УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-РЕСУРСНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОСВІТИ, НАУКИ, ТЕХНІКИ, БІЗНЕСУ,
СОЦІАЛЬНОЇ СФЕРИ****РУДНИЧЕНКО Н.Д.**

Исследование эффективности использования гибких методологий разработки программного обеспечения в практике современных компаний 171

ШВИДКІ АЛГОРИТМИ: НАУКА, МИСТЕЦТВО, РЕМЕСЛО
БЫСТРЫЕ АЛГОРИТМЫ: НАУКА, ИСКУССТВО, РЕМЕСЛО
FAST ALGORITHMS: SCIENCE, ART, CRAFT

А.П. ЦАРЁВ, докт.техн.наук

Западно-поморский технологический университет в Щецине, Польша

Наведено результати дослідження специфіки, можливостей і переваг швидких алгоритмів. Наведено опис розробленого підходу до розробки швидких алгоритмів, що використовують векторно-матричні операції.

Ключові слова: швидкі алгоритми, обчислювальна інформатика, структури обчислень.

Приведены результаты исследования специфики, возможностей и преимуществ быстрых алгоритмов. Приведено описание разработанного подхода к разработке быстрых алгоритмов, использующих векторно-матричные операции.

Ключевые слова: быстрые алгоритмы, вычислительная информатика, структуры вычислений

State contains the results of a study of the specifics, possibilities and advantages of fast algorithms. This paper focuses on the description of the proposed approach for the development of fast algorithms using vector-matrix operations.

Keywords: fast algorithms, computational informatics, computational structures.

Введение. Быстрые алгоритмы – это область информатики, которая изучает алгоритмы реализации различного рода вычислительных задач с использованием как можно меньшего числа математических (и прочих) операций.

Развитие теории и практики конструирования быстрых алгоритмов издавна находилось в непосредственной зависимости от прогресса в области проектирования и производства средств электронной вычислительной техники.

Цель работы. Так или иначе, разработка быстрого алгоритма требует от разработчика глубокого понимания особенностей решаемой задачи, а также широких теоретических знаний.

Такое положение дел может вызвать трудности у инженерно-технического персонала и специалистов, имеющих богатый практический опыт, но не обладающих достаточным уровнем теоретической подготовки, а в некоторых случаях – даже инспирировать нежелание самостоятельно разрабатывать такие алгоритмы. Тем не менее следует признать, что процесс создания быстрого алгоритма является делом необычайно интересным и творческим.

Многое здесь зависит не только от глубины знаний и уровня теоретической подготовки разработчика, но и от его интуиции и смекалки.

Не последнюю роль играет также накопленный опыт и наличие навыков решения подобного рода задач. Поэтому можно с полной уверенностью утверждать, что проектирование быстрых алгоритмов это и наука, и искусство, и ремесло.

Основной материал. Можно смело утверждать, что именно несовершенство вычислительных машин первого, второго и третьего поколений способствовало появлению на свет быстрых алгоритмов. Справедливости ради необходимо отметить, что система команд компьютеров первых поколений содержала весь необходимый набор команд, требующийся для реализации математических вычислений.

Однако, если такие операции как сложение и вычитание выполнялись в течение одного машинного цикла, то, к примеру, команда умножения требовала реализации довольно длинной последовательности операций сложения и сдвига в соответствии с правилами умножения двоичных чисел. Эта последовательность операций обычно «прошивалась» на ферритовых кольцах в блоке постоянной памяти ЭВМ и хранилась в виде микропрограммы.

Ясно, что реализация такой микропрограммы требовала значительно большего времени, чем выполнение операции сложения или операции обращения к памяти.

Таким образом, оказалось, что время реализации умножения стало главным фактором, ограничивающим скорость решения прикладных задач.

Этот факт стимулировал поиск и развитие способов и методов, позволяющих сократить число операций умножения при реализации тех или иных численных методов. Именно в рамках этого направления разработаны и применяются быстрые алгоритмы цифровой обработки данных [1].

Прародителями быстрых вычислений можно с некоторой степенью условности считать немецкого математика К. Рунге и К. Гаусса, которые занимались поиском способов сокращения количества арифметических операций при проведении различного рода математических расчётов.

Хорошо известен, к примеру, алгоритмический трюк Гаусса, позволяющий вычислить произведение двух комплексных чисел с помощью всего лишь трёх умножений и пяти сложений действительных чисел [2].

Однако началом эпохи наиболее заметных достижений в области быстрых вычислений можно считать разработку в 1960 году Анатолием Алексеевичем Карацубой метода «разделяй и властвуй», продемонстрированного им, в частности, на примере синтеза нового эффективного алгоритма быстрого умножения больших целых чисел [3; 4].

Следующим революционным событием в научном мире стала разработка и публикация в 1965 году алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) авторства Дж. Кули и Дж. Тьюки, полученного по сути дела также с применением метода «разделяй и властвуй».

Появление этого алгоритма стало переломным пунктом развития теории и практики цифровой обработки сигналов и изображений, а также целого ряда других областей науки и техники, поскольку позволяло радикально сократить количество арифметических операций при вычислении дискретного преобразования Фурье [5].

Позднее появились многочисленные «быстрые» алгоритмы, вычисления свёрток и корреляций цифровых последовательностей, дискретных преобразований в различных ортогональных базисах и многие другие [6-8].

Среди прочих следует выделить ставшие «классикой» быстрых вычислений алгоритмы умножения матриц Штрассена, Винограда, алгоритмы умножения больших целых чисел Тоома-Кука, Фюрера и многие другие [9-11].

Главным преимуществом всех «быстрых» алгоритмов было радикальное сокращение операций умножения (снижение мультипликативной сложности) по сравнению с «наивными» алгоритмами.

Однако, в ряде случаев снижение количества операций умножения приводило к увеличению (иногда существенному) количества сложений (аддитивной сложности) и почти всегда – к увеличению сложности управления процессом вычислений, а также к росту операций пересылки данных, на которые тогда никто не обращал особого внимания в силу незначительного, по сравнению с умножением, времени их выполнения.

С развитием технологии производства элементной базы электронных вычислительных машин, появлением СБИС, содержащих встроенные аппаратные умножители, позволяющих выполнить команду умножения в течении одного машинного цикла, значение быстрых алгоритмов несколько приуменьшилось.

Неожиданно оказалось, что сокращение умножений в быстрых алгоритмах вызывающее рост операций сложения и операций переадресации данных в условиях, когда время выполнения этих операций является сравнимым, может возыметь и негативный эффект.

Практика показала, что, по крайней мере, в ряде случаев, «наивные» подходы, основанные на трудоёмких с точки зрения количества выполняемых арифметических операций, но более простых с точки зрения организации вычислений и реализации механизмов адресации данных в алгоритмах, могут оказаться эффективнее их «быстрых» модификаций.

Это позволило всякого рода дилетантам и скептикам утверждать о дальнейшей нецелесообразности поиска и применения алгоритмических решений, позволяющих снизить вычислительную сложность математических расчётов.

Необходимо отметить, что действительно, в случае, когда компьютер или иное вычислительное устройство уже содержит встроенный аппаратный умножитель, сокращение числа операций умножения за счёт непропорционально большого роста сложений может привести к негативным последствиям.

Тем не менее, при проектировании специализированных процессоров, особенно процессоров с распараллеливанием вычислений, в которых предполагается наличие целого ряда параллельно работающих блоков умножения, проблема минимизации количества этих блоков остаётся по-прежнему актуальной.

Это объясняется тем, что если аппаратная сложность сумматора зависит линейно от размера операндов, то аппаратная сложность блока умножения – квадратично.

Умножитель по сравнению с сумматором занимает на кристалле значительно больше места, потребляет значительно больше энергии и выделяет значительно больше тепла.

Ясно, что разработчик такого процессора будет стремиться к тому, чтобы его структура содержала как можно меньше блоков умножения.

В этом случае поиск алгоритмических решений, приводящих к снижению аппаратных и связанных с ними затрат является необычайно актуальным. С этой точки зрения разработка быстрых алгоритмов является экономически обоснованной и технически целесообразной.

Необходимо отметить, что до сих пор не существует универсальной методики проектирования быстрых алгоритмов.

Наиболее известные и интересные решения были получены, скорее всего, именно на основе учёта частных свойств и уникальных особенностей конкретных задач.

Так, например, алгоритм БПФ был разработан благодаря учёту свойств периодичности и мультипликативности дискретных экспоненциальных функций, алгоритм быстрой циклической свёртки – благодаря доказательству того, что свёртка двух последовательностей может быть вычислена как произведение коэффициентов БПФ этих последовательностей.

Предлагается простой и не требующий специальных знаний подход [12-13] к разработке быстрых алгоритмов, использующих векторно-матричные операции.

Главное внимание сосредоточено именно на этом типе операций, поскольку необходимость быстрого вычисления векторно-матричных произведений с различными матричными ядрами возникает при решении огромного количества прикладных задач, связанных с цифровой обработ-

кой данных в радио- и гидролокации, навигации, телекоммуникации, распознавании образов, анализе сцен, машинной графике и т.д..

Не претендуя на полную универсальность, предлагаемый подход всё-таки обладает достаточным набором свойств, позволяющих унифицировать, формализовать и даже автоматизировать в интерактивном режиме разработку быстрых алгоритмов [14].

Выводы. С помощью развиваемого подхода был разработан целый ряд эффективных алгоритмических решений, позволяющих уменьшить время выполнения вычислений при решении различных прикладных задач и/или упростить структуры вычислителей [15-28].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гашков С.Б. *Занимательная компьютерная арифметика. Быстрые алгоритмы операций с числами и многочленами* / Гашков С.Б. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 224 с.
2. Блейхут Р. *Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1989. – 448 с.
3. Карацуба А., Офман Ю. *Умножение многозначных чисел на автоматах // Доклады Академии Наук СССР, 1962. – Т. 145. – № 2.*
4. Гриценко С.А. *Научные достижения Анатолия Алексеевича Карацубы* / С.А. Гриценко, Е.А. Карацуба, М.А. Королёв, И.С. Резвякова, Д.И. Толев, М.Е. Чанга // *Совр. пробл. математики: Математика и информатика, 1. – 2012. – Т. 16. – С. 7-30.*
5. Кули Льюис Уэлч. *Исторические замечания относительно быстрого преобразования Фурье // ТИИЭР. – 1967. – Т. 55. – № 10. – С. 18-21.*
6. Нуссбаумер Г. *Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свертки: Пер. с англ.* – М.: Радио и связь, 1985. – 248 с.
7. Хуанг Т.С., Эклунд Дж. О., Нуссбаумер Г. *Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений.* – М.: Радио и связь, 1984. – 220 с.
8. Макклеллан Дж.Г., Рейдер Ч.М. *Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов.* – М.: Радио и связь, 1983. – 264 с.
9. Рабин М.О., Виноград Ш. *Быстрое вычисление многочленов с предварительной рациональной обработкой коэффициентов // Математика. – 1974. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 98-120.*
10. Strassen V., *Gaussian Elimination is not Optimal // Numer. Math — Springer Science+Business Media. – 1969. – Vol. 13. – № 4. – P. 354-356.*

11. Окулов С.М. Алгоритмы компьютерной арифметики // С.М. Окулов, А.В. Лялин, О.А. Пестов, Е.В. Разова. – 2-е изд. (эл.). – М.: Лаборатория знаний, 2015. – 288 с.
12. Cariow A. Strategies for the synthesis of fast algorithms for the computation of the matrix-vector products // *Journal of Signal Processing Theory and Applications*. – 2014. – Vol. 3. – № 1. – P. 1-19.
13. Cariow A. Algorytmiczne aspekty racjonalizacji obliczeń w cyfrowym przetwarzaniu sygnałów. Wydawnictwo Uczelniane ZUT / PPH ZAPOL Dmochowski Sobczyk Spółka Jawna, 2011. – 230 с.
14. Andreatto B., Cariow A., Automatic generation of fast algorithms for matrix-vector multiplication // *International Journal of Computer Mathematics*. – 2017. – P. 1-19.
15. Gliszczyński M., Cariow A. Szybki algorytm splotu kołowego dla $N = 2^m$ // *Pomiary Automatyka Kontrola*. – 2009. – 55. – № 8. – P. 566-568.
16. Cariow A., Cariowa G. Aspekty algorytmiczne redukcji liczby bloków mnożących w układzie do obliczania iloczynu dwóch kwaternionów // *Pomiary, Automatyka, Kontrola*. 2010. – P. 688-690.
17. Cariow A., Cariowa G. Aspekty algorytmiczne organizacji jednostki procesorowej do mnożenia liczb Cayleya // *Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania*. – 2010. – 51. – № 11. – S. 104-108.
18. Царёв А.П., Царёва Г.Д. Алгоритм умножения октонионов: *Известия Вузов // Радиоэлектроника*. – 2012. – Т. 55. – № 10. – С. 44-54.
19. Cariow A., Cariowa G. An algorithm for complex-valued vector-matrix multiplication // *Electrical Review*. – 2012. – P. 88. – № 10 b. – P. 213-216.
20. Majorkowska-Mech D., Cariow A. An algorithm for discrete fractional Hadamad transform with reduced arithmetical complexity // *Electrical Review*. – 2012. – R 88. – № 11 a. – P. 70-76.
21. Cariow A., Gliszczyński M. Fast algorithms to compute matrix-vector products for Toeplitz and Hankel matrices // *Electrical Review*. – 2012. – R 88. – № 8. – P. 166-171.
22. Cariow A., Cariowa G. An algorithm for fast multiplication of sedenions // *Information Processing Letters*. – 2013. – P. 324-331.
23. Cariow A., Cariowa G. An algorithm for multiplication of Dirac numbers // *Journal of Theoretical and Applied Computer Science*. – 2013. – № 4. – P. 26-34.
24. Cariow A., Cariowa G. Algorithmic tricks for reducing the complexity of FDWT/IDWT basic operations implementation // *Inter-*

- national Journal of Image, Graphics and Signal Processing.* – 2014. – № 10. – P.1-9.
25. Cariow A., Cariowa G. *An algorithm for fast multiplication of Pauli numbers. Advances in Applied Clifford Algebras, 2015.* – P. 1-11.
26. Cariow A., Majorkowska-Mech D. *Fast algorithm for discrete fractional Hadamard transform. Numerical Algorithms, 2015.* – Vol. 68. – № 3. – P. 585-600.
27. Cariow A., Cariowa G. *On the Multiplication of Biquaternions, Soft Computing in Computer and Information Science: Advances in Intelligent Systems and Computing, 2015.* – Vol. 342. – P. 423-434.
28. Cariow A., Cariowa G., Witczak M. *A FPGA-Oriented Fully Parallel Algorithm for multiplying dual quaternions, Measurement Automation Monitoring, Jul. 2015.* – Vol. 61. – № 07. – P. 370-372.

Стаття надійшла до редакції 14.09.2017

**МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІШЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО
ОБЛАДНАННЯ В СИСТЕМІ СВІЙСЬКОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕШЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
В СИСТЕМЕ ДОМАШНЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ**

**THE POSSIBILITIES TO USE INDUSTRIAL EQUIPMENT
SOLUTION IN HOME AUTOMATION SYSTEM**

А. РЫХЛИК, канд. техн. наук

Лодзинский технический университет, Польша

У роботі описується використання промислової автоматизації у сфері автоматизації будівель, яка знижує вартість проектування та будови систем та підвищує функціональні можливості порівняно з існуючими вже системами, що вже застосовуються та запропоновані до купівлі/продажу. Через збільшення площі використання ці системи будуть застосовуватися у великій кількості, що дозволить без збільшення витрат, підвищити їхню надійність. Прикладом вирішення, доведеного до прототипу, у роботі представлено систему керування та контролю котеджного саду і комерційну величезну систему Automation Platform.NExT™.

Ключові слова: автоматизація промисловості, автоматизація будівлі, смартдом, смартсад, мобільний додаток, веб-додаток, пристрій ПЛК.

В данной работе описывается использование промышленной автоматизации в области автоматизации зданий, что дает снижение стоимости проектирования и строительства систем, повышает функциональные возможности по сравнению с существующими уже системами, которые применяются и которые предложены к купле/продаже. В связи с увеличением площади применения эти системы будут производиться в больших количествах, что позволит без увеличения затрат повысить их надежность. Как пример решения доведенного до прототипа в работе представлено систему управления и контроля коттеджного сада и коммерческую огромную систему Automation Platform.NExT™.

Ключевые слова: автоматизация промышленности, автоматизация здания, смартдом, смартгород, мобильное приложение, веб-приложение, устройство ПЛК.

© Рыхлик А., 2017

This work describes the use of industrial automation solution in building automation. This approach reduces the cost of system design and construction. It increases functionality compared to existing in-use and offered to buy systems. These systems, due to their increased use, will be produced in larger quantities which will increase their reliability without increasing costs. As an example of the prototype implemented in this work, a system of management and control home garden and the commercial, huge system Automation Platform.NExT™ are presented.

Keywords: industrial automation, building automation, smart home, smart garden, mobile application, web application, PLC device

Introduction. The modern house is more and more like a complicated machine than a simple construction that provides a roof over his head. Once the electrical system was simple, enough for one light bulb in the middle of the ceiling of the room one or two outlet and switch on the wall near the door. In the event of a short circuit you had to screw the new fuse and it was over the trouble.

Now our expectation is much higher: we expect not only a larger number of light points and sockets, but also better protect the electrical installation to be safe for the households. We require better grounding and zeroing.

We require TV outlets in several rooms. We require a computer network around whole home, Wi-Fi coverage in the house and garden with Internet access. We require intercom, electric blinds, fire detectors, home theatre in the living room, remote control and mange home heating and watering the garden, monitoring in the absence of residents, communication with the security company for the safety of residents during their presence in the property, control of home solar and wind power plants and many other installation.

Background. Each control system, independently controlled, consists of three PLCs, SCADA and HMI modules. They differ on sensors, actuators, and process control algorithms. The huge development of control systems owe, that the largest costs in the operation of the building and industry are generated by employees, and control systems remove employees from these process [1].

A programmable logic controller (PLC), or programmable controller (PC) is an industrial digital computer which has been ruggedized and adapted for the control of manufacturing processes, such as assembly lines, or robotic devices, or any activity that requires high reliability control and ease of programming and process fault diagnosis.

Supervisory control and data acquisition (SCADA) is a control system architecture that uses computers, networked data communications and graphical user interfaces for high-level process supervisory management, but uses other peripheral devices such as programmable logic controllers and discrete PID controllers to interface to the process plant or machinery.

The operator interfaces which enable monitoring and the issuing of process commands, such as controller set point changes, are handled through the SCADA supervisory computer system.

However, the real-time control logic or controller calculations are performed by networked modules which connect to the field sensors and actuators. The human machine interface (HMI), in the industrial design field of human-computer interaction, is the space where interactions between humans and machines occur.

The goal of this interaction is to allow effective operation and control of the machine from the human end, whilst the machine simultaneously feeds back information that aids the operators' decision-making process [2].

Review existing solution. Consider the case of home garden control when a landlord is very far away from home and cannot afford anybody to take care of the garden or economically such an order is unpro-fitable.

There is no way out, he must learn to take remote care of the garden.

One of the systems for automatic irrigation of plants is Daisy.si. From the website product description [6], we learn that it is suitable for watering inside the house, verandas or balconies. It is resistant to moisture sunlight.

The system is low energy consumption; its battery lasts up to two years. Different colored LEDs inform the user of the system on the state of soil moisture. On the basis of the optimization algorithm, water is gradually released from the container when the sensor informs the system about too low soil moisture.

The Daisy.si system for more demanding users has a web application where you can select the watering parameters of your plants according to your taste. Communication with the web application is via wireless data transmission.

Looking at soil watering systems we come to RainCommander. He is very technologically advanced.

From the web side of the manufacturer [7] we learn that it supports sprinklers located in 12 zones. One feature of the system is Wi-Fi connectivity, so users can control the sprinklers by using a web or mobile application. The system has ability to control both single zones and all sprinklers at once.

The next system to present is Skydrop.

On the web site of the manufacturer [8] we learn that the garden is divided into zones based on information such as: type of soil, species of vegetation, and type of sprayer.

Watering program additionally depends on atmospheric condition. A mobile application that connects to the device via a Wi-Fi network is available for the system. Through it, the user can, among other, edit the frequency of watering, monitor the status of the system, and receive reports from the system.

The last system to consider is the Niwa Hydroponic System. On the web site of the manufacturer [9] we learn that this smart home system not only allows for automatic watering plants but also for lighting them.

Niwa Hydroponic System is recommended when growing edible plants. We use the provided mobile application to operate this device. It allows you to plan the best development condition for selected plants.

You can also use it to edit the frequency of watering and other activities related to the cultivation of plants.

Functional and non-functional assumption for designed system.

The biggest disadvantage of the presented systems is their price. In the practical part of the article is presented a project consisting of low cost electronic components used in both industrial and building automation.

Although the mobile application is only part of the whole system once it is included in cost of sales of the devices.

On the other hand, it is available for free on Android mobile devices through Google Play or Apple-powered devices through the App Store and for Windows Phone from Microsoft Store.

The reason for the high prices of building automation and garden automation systems lies in the high cost of paid software developers.

Electronic circuits are manufactured in China, where production costs are low. The software is produced in the US, where production costs are high.

The idea of building automation and gardening has been widespread by Americans.

This is a huge market for products that manage large buildings, but they can also automate the work of an average person's home.

Most of these types of projects are created in the US, so the developer's pay must be adapted to the US labor market.

This in turn generates the high cost of the final product that the company could reap a profit from the sale.

The second problem for system users is the lack of native support for the devices. In Poland, small, backyard garden mainly run by elderly people.

During the Polish People's Republic, the main language taught in schools was Russian. The systems: Daisy.si, RainCommander, Skydrop, Niwa Hydroponic System only have application in English. Another major problem that has previously analyzed systems is the lack of utility offline.

They do not have a list of activities to do in the garden, to which the user could type in the task he invented and then execute them and then unmark them.

Those who have such a list do not show it in offline mode. When managing a home garden, take care of the same things as the industrial garden: spraying plants, fertilizing, weeding, sowing and planting, preparation of scions, extracts, slurry, trapping of snails, egg whites, harvesting fruits, vegetables, herbs, remove whole or parts of plants.

Lack of this functionality makes it difficult to work in the garden. As you can see, gardening is more than just watering.

The fourth drawback of the presented systems is the lack of access to the garden data via a web browser (except Daisy.si).

It is worth mentioning that in Poland a lot of, especially older people use the Internet only via an Ethernet cable attached to a desktop computer.

Finally, it is important to note that the GUI of the presented applications is not responsive, which is a major handicap for older people with vision problems.

Design of the smart garden management and control system. The purpose and result of my research was to design and build a garden management device in the image and similarity of control systems used in industry and the faultless systems presented above.

The solution of the problem is to create an Internet and mobile application, which is the task manager for the owner supports its activities, offering watering plants in these conditions specifically defined.

This involves the construction of the whole system, which transfers the data to the server using a computer to be accessible to the user mobile application regardless of whether the garden is big or small, whether it is eg used as a backyard or for industrial purposes. In this example, the user can retrieve data on the current state of the garden (soil moisture, temperature and humidity).

Based on this data he decides what action to take on the plants. These tasks are provided by a mobile application for PLCs that actuate the valves in the garden. PLC is an embedded system, and based on the received data from the master management system and the sensors data generates control signals for the actuators.

The idea of watering is to set up hoses in the watering places and activate them when the sensors show low humidity values.

Mobile application is designed for Smartphone running Android 5.0 or higher because it is most popular. Data transmission with the server with the database of plant parameters in the garden is done via the Internet [3].

Sensors and devices are connected to a microcontroller board using 1-wire protocol.

The 1-wire bus requires only one data line (and ground) for communication with central microcontrollers. We use a USB connection to connect the Arduino to the PCs. Of course, Smartphone also has access to the Internet.

The mobile application uses the SQLite database because Android has built-in eg support. The mobile application was made in the Android Studio. As a PLC module, DFROBOT board is used because it is compatible with the Atmega 32U4 microcontroller in the Arduino Leonardo range and is cheaper.

Another important element of the project is the temperature and humidity sensor DHT11. It allows you to measure the air temperature in the 0-50 Celsius scale and the relative humidity from 20% to 80%. It is connected to the microcontroller via a single-wire interface. The next element of the system is the humidity sensor of the soil.

This is an analogue sensor that increases the voltage when the humidity increases. Actuators are solenoid valves for water supply hoses in the space of possible shortages.

At a time when the soil moisture falls below 30 % and the air temperature is positive, watering the plants starts to reach 70 % of the soil moisture.

The Arduino module has been programmed with an IDE dedicated to this module and when it is connected via a USB cable to a computer with an IDE installed.

In our project the software was generated for the Arduino board Leonardo. The HTML 5, CSS 3, Bootstrap 3, PHP, JavaScript and SQLite were used for web application design.

The website has been tested in four browsers: Mozilla Firefox, Microsoft Edge, Google Chrome and Opera Neron. The test showed full responsiveness of the site [4; 5].

The mobile application has two tasks; one is a task manager in the garden and second allows you to receive measurements from the server by connecting to the web browser of the mobile device.

For this reason, the responsive website is so important in the whole project that returning back to the task manager only requires the back arrow to be pressed.

The reading of the measurement of parameters within a module application has not been implemented, because it is assumed that the users will be elderly people who will not always have access to the Internet.

Their use of the application is limited to task manager. For this reason, it was considered that the GUI should not be expanded.

The application for the elderly should be very easy to use.

The test mobile application was made in Android Studio, tasks are written to data base SQLite.

This means that when you open the application again, you have access to the task list and you have ability to create, delete and edit tasks. The mobile application is very easy to use and it was one of goals of the prototype.

The commercial, huge system used in both industrial and building automation. The most technologically advanced system is the Automation Platform.NExT™ [10]. From the leaflet included with the product, we learn that Automation Platform.NExT™ sets new opportunities for SCADA / HMI. Provides maximum scalability in one flexible, modular development environment.

This enables Platform.NExT™ to provide a wide range of application capabilities while maintaining high temporal design efficiency.

Platform.NExT™ environment is based on the concept of plug-in, which allows for maximum co-operation with other systems in order to integrate third-party components in a single environment and the use of extensive technology capabilities NET.

The graphical environment is based on WPF technology and supports advanced XAML graphics tools.

The availability of VB.NET provides great application capabilities. The NExT™ Automation Platform guarantees maximum safety. It offers security features that cover all the solutions available in the typical SCADA systems of recognized manufacturers. Automation Platform.NExT™ is based entirely on recognized market standards, providing reliability and openness. XAML and WPF technologies ensure the most efficient graphics processing technology.

MS SQL Server and Azure ensure data archiving with the ability to collaborate with other relational databases. SCADA application design files are based on the XML standard. Advanced programming capabilities are available through VB.NET. Communication with external devices is accomplished using many integrated protocols and OPC UA (OPC Unified Architecture) technology.

Automation Platform.NExT™ uses modern OPC UA technology for efficient communication with compatible applications.

The I / O server offers a wide range of communication drivers that allow direct connection to external devices. Communication drivers for Siemens, Rockwell, Schneider, Omron and many others are available.

The Automation Platform.NExT™ architecture has been developed to integrate with IT applications, enterprise management, and decision support.

The Automation Platform.NExT™ environment is geared towards maximizing productivity.

Fast communication, real-time data management, and optimized graphics processing make full use of graphics accelerators and DirectX capable of delivering high-performance and high-performance solutions.

The Automation Platform.NExT™ is an environment based on SCADA concept of web access.

Building network applications is easy and effective. Maximum performance is achieved through the use of Silverlight technology and the use of HTML 5. Technologically advanced and intuitive environment allows you to build Platform.NExT™ Automation SCADA applications in an efficient and optimal time. A rich library of objects for easy design works and provides opportunities to create modern and advanced graphical synoptic screens.

Technology plug-in allows you to use components originating from third-party software, which allows almost unlimited expansion functions built SCADA applications [10].

The unmatched openness and flexibility of the Movicon software architecture makes it an ideal SCADA HMI surveillance system for any manufacturing sector. Today's automation world needs to be flexible, which means the ability to deliver the product on time, according to customer requirements, without sacrificing the secrets of technology.

PROGEA offers an effective guarantee to protect your investment and allows you to stay competitive in the world by using only one MOVICON software platform. Software for all automation applications, from control level (PLC, HMI) to SCADA / MES across the enterprise. Progea solutions are also tailored to the surveillance of intelligent buildings.

The company's engineers are leading experts in software supervision and control (SCADA / HMI).

Movicon BA offers all the advantages of open systems software for the integration and visualization of automation systems for modern buildings, residential, industrial, service and large agglomerations.

The enormous years of experience in developing assumptions for implementation and deployment have allowed PROGEA to deliver the right solution that meets the most demanding system integration needs with just one product - powerful open source HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) plant control software, lighting, Control, energy consumption, security, surveillance of IP cameras, TVCC (Closed Circuit Television), fire protection systems, lifts and all other building automation devices. PROGEA software solutions are designed for all types of infrastructure, empowering users with tools for navigating and controlling control systems from individual buildings to whole infrastructure blocks.

This means that large hospitals, airports, businesses, hotels, tunnels and many other places around the world can be visualized, monitored and controlled by Movicon software. PROGEA integrates systems such as: HVAC, lighting, energy consumption, safety, fire protection, elevator supervision for full control over these areas. Integrated alarm with live video, alarm acknowledgment via web browser, Pocket PC, and mobile phone, gives you complete control over all your operations [10].

The illustrated example shows that not only simple amateur solutions but also complex commercial systems tend to be used industrial equipment solution in home automation system.

Conclusion. The experiment showed the possibilities to use industrial equipment solution in home automation system on the example of garden management and control.

Given that the whole system was made for a small amount of money, one might wonder whether it is really worthwhile to buy from the big companies the ready solution.

The answer to this question is ambiguous, depending on what the future user expects. A person with a large garden in which care is dedicating a lot of money, probably opt for a solution with an established position among companies gardening, even though it will be made in old technology.

The less demanding person will choose cheaper solution, as a gift will be provided with a system made in a newer technology.

The first step in the system development plan is to transfer measurement to an FTP server.

Experiments with the prototype were implemented using an SFTP server. The Arduino board is too weak to send data directly to this server. You must install the middleware on a local, standard personal computer.

The next step may be to optionally display the measurement results in a mobile application for more demanding users.

Another suggestion is to add functionality to the control of soil irrigation. At present, the user can only supervise whether the parameters set at the beginning are practical.

More knowledgeable people in horticulture may need such functionality. There is also a need to provide applications for users of niche mobile devices such as Apple or Windows Phone.

Implementing a cross-platform mobile application will be the next step in prototype development as the most expensive commercial systems make mobile applications available on many mobile devices. In the future, there is a parallel existence in the market of solutions for large and small systems with interfaces that enable data transfer between them.

REFERENCES

1. Rychlik A. *Budowa i eksploatacja szerokopasmowego dostępu do Internetu, jako podstawy organizacji społeczeństwa informacyjnego* / A. Rychlik // *Rozdział w monografii pod red. Emilii Musiał i Ireny Purtak, 21 Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe «Komputer w edukacji»*. – Kraków, 2011.
2. Rychlik A. *Uwagi do projektu inteligentnego domu* / A. Rychlik // *Books of Abstracts of 8-th Ukrainian-Polish Scientific and Practical Conference Electronics and Information Technologies, Lviv-Chynadiyevo, Ukraine*. –2016.
3. Rychlik A. *System for the Sale of Intellectual Property through IPTV* / A. Rychlik // *Abstracts 2-nd International Conference Computer Algebra & Information Technologies, Odessa Ukraine*. – 2016.
4. Рыхлик А. *Информационная сисутема дистанционного управления употреблением и расчетом за газ, воду электричество, интернет, телевидение, телефон* / А. Рыхлик // *Тезисы докладов 18 международной научно-практической конференции: Современные информационные и электронные технологии*. – 2017.
5. Rychlik A.: *The Integration of the System Collection of Utilities Fees with Building Automation in Smart Home* / A. Rychlik // *Books of Abstracts of 9-th Ukrainian-Polish Scientific and Practical Conference Electronics and Information Technologies, Lviv-Chynadiyevo, Ukraine*. – 2017.
6. *Daisy.si watering device [Electronic resource]*. – Access mode: <http://daisy.si>. – Access date: 24.06.2017.
7. *RainCommander [Electronic resource]*. – Access mode: <https://www.kickstarter.com/projects/266624000>. – Access date: 24.06.2017.

8. *Skydrop watering system [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.skydrop.com>. – Access date: 24.06.2017.*
9. *Niwa Hydroponic System [Electronic resource]. – Access mode: <https://getniwa.com>. – Access date: 24.06.2017.*
10. *Movicon [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.movicon.pl/movicon-11>. – Access date: 24.06.2017.*

Стаття надійшла до редакції 06.09.2017

**ИНТЕЛЕКТУАЛЬНА ЕВОЛЮЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО
І ІМУННОГО ПІДХОДІВ**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИОННАЯ СИСТЕМА
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО И ИММУННОГО ПОДХОДОВ**

**INTELLECTUAL EVOLUTION SYSTEM OF SUPPORT
OF DECISION-MAKING BASED ON NEURAL NETWORK
AND IMMUNE APPROACHES**

Н.М. КОРАБЛЕВ, докт.техн.наук,
Д.Н. СОЛОВЬЕВ, Р.Р. МАЛЮКОВ

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

У статті розглядається модель інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень на основі нейронної мережі, навчання та еволюція якої здійснюються з використанням імунного підходу. Еволюція системи розглядається як задача її адаптації до умов зміни зовнішнього середовища і властивостей об'єкта прийняття рішень, що складається з процедур корекції числа нейронів в прихованих шарах і параметрів моделі системи, які використовують імунні моделі клонального відбору та імунної мережі.

Ключові слова: прийняття рішень, нейронна мережа, штучна імунна система, афінність, клональний відбір, імунна мережа.

В статье рассматривается модель интеллектуальной системы поддержки принятия решений на основе нейронной сети, обучение и эволюция которой осуществляются с использованием иммунного подхода. Эволюция системы рассматривается как задача ее адаптации к условиям изменения внешней среды и свойств объекта принятия решений, состоящая из процедур коррекции числа нейронов в скрытых слоях и параметров модели системы, использующих иммунные модели клонального отбора и иммунной сети.

Ключевые слова: принятие решений, нейронная сеть, искусственная иммунная система, аффинность, клональный отбор, иммунная сеть.

The article considers the model of the intellectual decision support system based on the neural network, the training and evolution of which are carried out using the immune approach.

© Кораблев Н.М., Соловьев Д.Н., Малюков Р.Р., 2017

The evolution of the system is considered as the task of adapting it to the conditions for changing the external environment and the properties of the decision-making object, consisting of procedures for correcting the number of neurons in the hidden layers and the parameters of the system model using immune models for clonal selection and the immune network.

Keywords: *decision-making, neural network, artificial immune system, affinity, clonal selection, immune network.*

Введение. В настоящее время стремительно увеличиваются потоки перерабатываемой информации, что требует не только автоматизации процессов обработки и анализа данных, но и интеллектуализации информационных и организационных процессов, а также использования эффективных методов и технологий принятия решений и управления. Актуальной задачей является разработка информационных технологий принятия решений, учитывающих современные требования, которые предъявляются или могут возникнуть при управлении сложными системами. Появление компьютерных систем и сетей высокой производительности с большой емкостью памяти, а также появление многоядерных процессоров, допускающих реализацию параллельных вычислений, с одной стороны, и необходимость обработки значительных массивов информации для принятия решений – с другой, привели к созданию интеллектуальных систем поддержки принятия решений ИСППР [1; 2]. Реальная ситуация требует других подходов к созданию ИСППР в условиях изменения окружающей среды и характеристик состояния системы, учесть которые априори практически невозможно.

Перспективным направлением исследований в этой области является создание гибридных ИСППР, использующих преимущества каждой из технологий искусственного интеллекта.

Существуют различные подходы к созданию ИСППР, использующих аппарат теории нечетких множеств и нечеткой логики, искусственные нейронные сети (ИНС), генетические алгоритмы, эволюционное программирование, искусственные иммунные системы (ИИС) и др.

Эти системы предназначены для помощи лицу, принимающему решение (ЛПР), при управлении сложными объектами и процессами различной природы в условиях жестких временных ограничений и наличия различного рода неопределенностей.

Они относятся к классу интегрированных интеллектуальных систем, сочетающих строгие математические модели и методы поиска решения с нестрогими методами и моделями, базирующимися на знаниях экспертов и накопленном опыте.

Особое место среди ИСППР занимают системы на основе ИНС, которые широко применяются там, где классические системы неприменимы, а именно, в случае нелинейности системы, в условиях неопределенности и др.

Ключевым концептуальным положением создания современных ИСППР является придание им способности эволюционировать в условиях изменения внешней среды, свойств объекта принятия решений и управления и др. [1; 3].

Поэтому для решения проблемы повышения качества интеллектуального анализа и обработки информации при наличии априорной и текущей неопределенности и повышения эффективности использования ИСППР при решении сложных интеллектуальных задач необходимо использовать модели системы, которые будут эволюционировать во времени для адаптации к среде функционирования и свойств объекта принятия решений (ОПР), повышая тем самым уровень своего «интеллекта».

В [3] рассмотрены эволюционные методы формирования нечетких баз правил и их редукции на основе генетического алгоритма, а в [4] исследованы нейросетевые и гибридные алгоритмы обучения для повышения эффективности ИСППР в сложных средах.

В [5] предлагается модель ИСППР на основе нечеткой логики, эволюция которой осуществляется с использованием иммунного подхода, что позволяет автоматически определять и корректировать как структуру (число правил вывода), так и параметры модели системы в зависимости от изменения свойств окружающей среды и исследуемого объекта.

В данной работе предлагается модель ИСППР на основе ИНС, эволюция которой осуществляется с использованием иммунного подхода.

Это позволяет автоматически определять и корректировать как структуру (число нейронов в скрытых слоях), так и параметры модели системы в зависимости от изменения характеристик окружающей среды и свойств исследуемого объекта.

Постановка задачи. Пусть X – множество выборок признаков (факторов) описания объекта, Y – множество состояний объекта (классов), а функционирование ИСППР описывается как отображение пространства факторов на пространство состояний в виде соотношения

$$F: X \rightarrow Y, X \subset R^m, Y \subset R^n. \quad (1)$$

Для принятия решения система должна иметь аналитическую зависимость соотношения (1), согласно которой по известным значениям вектора входных факторов (словарь признаков) $X^m = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \subset X$ можно оценить значения выходного вектора состояний (классов) $Y^n = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \subset Y$.

Для описания связи между множествами входных и выходных переменных ОПР используется модель СППР в виде многослойной нейронной сети (НС) с прямым распространением сигнала.

В работе использован трехслойный персептрон, имеющий входной слой, содержащий число нейронов, равное числу входных признаков, один промежуточный слой и выходной слой, содержащий число нейро-

нов, равное числу классов принимаемых решений. В промежуточном слое нейронов в качестве функций активации используются сигмоидальные функции

$$z_m = f(u_m) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda_m u_m}}, \quad u_m = \sum_{n=1}^N w_{n,m} x_n + w_{o,m}, \quad (2)$$

где $z_m, m = \overline{1, M}$ – выходной сигнал m -го нейрона промежуточного слоя, состоящего из M нейронов, имеющих N входов;

$x_n, n = \overline{1, N}$ – n -я компонента входного вектора признаков, подаваемого на входной слой НС;

$w_{n,m}$ – весовой коэффициент n -го входного признака x_n , поступающего на вход m -го нейрона промежуточного слоя; $w_{o,m}$ – значение смещения;

λ_m – коэффициент, определяющий крутизну функции активации $f(u_m)$.

Нейроны выходного слоя имеют пороговую функцию активации φ и используется для вынесения вердикта о принадлежности анализируемой системы к определенному классу решений или нет

$$y_k = \varphi\left(\sum_{m=1}^M v_{m,k} \cdot z_m + v_{o,k}\right) = \begin{cases} 1, & \text{если } y_k > 0, \\ 0, & \text{если } y_k \leq 0, \end{cases} \quad k = \overline{1, K}, \quad (3)$$

где $v_{m,k}$ – весовые коэффициенты;

$v_{o,k}$ – смещение;

K – число выходов НС.

Необходимо решить задачи обучения НС и эволюции модели СППР в условиях изменения характеристик внешней среды и свойств ОПР.

Изложение основного материала. Основой предлагаемой ИС-ППР, структурная схема которой приведена на рис. 1, является база знаний, в которой могут храниться общие знания, необходимые для решения всех задач принятия решений, знания о всех внутренних связях самой системы, все прикладные знания, например, описание предметных областей, правила и ограничения на процесс принятия решений, комп-лексы алгоритмов и др.

База знаний формируется на основе информации из обучающей выборки.

Система должна поддерживать непрерывную и двустороннюю связь с ОПР. Оперативные данные об ОПР, а также данные, характеризующие необходимое воздействие на него со стороны системы, образуют рабочую память системы или ее базу данных.

Важным звеном ИСППР является блок вычисления, который в диалоге с ЛПР, обеспечивает идентификацию ситуации, логический вывод решений, объяснение и обоснование этих решений, взаимодействие с базами данных и знаний, а также использует традиционные средства моделирования, алгоритмизации и программирования.

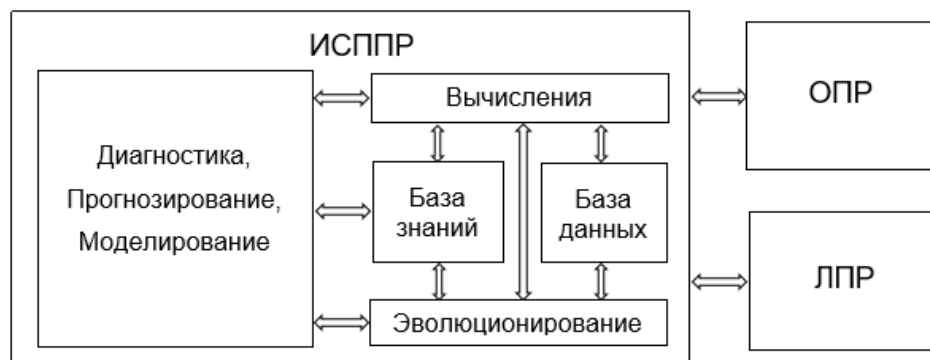


Рис. 1. Структурная схема ИСППР

Для придания системе способности развиваться во времени для адаптации к среде функционирования в состав ИСППР введен блок эволюционирования, который позволяет корректировать как структуру, так и параметры нейронной модели системы в зависимости от изменения характеристик окружающей среды и свойств исследуемого объекта.

Важной функцией системы является также выполнение стандартных функций по технической диагностике, прогнозированию, моделированию, документированию и отображению информации.

Благодаря непрерывной связи между системой и ОПР осуществляется мониторинг его параметров и как можно более раннее обнаружение неблагоприятных тенденций и отклонений в его состоянии.

Соответствующие информационно-аналитические компоненты системы осуществляют сбор, хранение и обработку оперативной информации о состоянии ОПР и происходящих в нем процессах. Она необходима для принятия оперативных решений, при отклонении текущих значений контролируемых параметров от установленных или рабочих значений.

Так как НС для принятия решений представляется в виде многослойной структуры с прямым распространением сигнала, а значение выходной переменной можно изменять, корректируя параметры элементов слоев, то для ее обучения могут быть использованы различные методы, используемые для обучения классических НС [6].

Следует отметить, что не существует универсального алгоритма обучения, подходящего для всех архитектур НС. Существует лишь набор средств, представленный множеством алгоритмов обучения, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. Алгоритмы отличаются друг от друга способом настройки синоптических весов нейронов.

Существующие методы обучения НС являются трудоемкими, а также выдвигают значительные математические требования к видам целевых функций и ограничений.

Основной их чертой является отсутствие возможности модификации структуры (количества нейронов в промежуточном слое) и параметров НС.

Для устранения недостатков существующих методов обучения НС предлагается использование ИИС. Задача обучения НС рассматривается как требование минимизации целевой функции

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [y(x_n, P) - y_r]^2} \Rightarrow \min_P, \quad (4)$$

где y_r – требуемое значение выхода НС;

P – вектор параметров НС, в качестве которых используются параметры $w_{n,m}$, $w_{o,m}$, $v_{m,k}$, $v_{o,k}$ и λ_m , $n = \overline{1, N}$, $m = \overline{1, M}$;

$y(x_n, P)$ – выходное значение НС при значении входов x_n , зависящее от параметров P .

Будем решать задачу обучения всех параметров НС в режиме off-line с использованием ИИС [7], основной идеей которой является представление решаемой задачи в виде антигена, а возможные ее решения – в виде антител. Сформируем популяцию антигенов вида

$$Ag = \{Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_S\}, \quad (5)$$

где S – размер популяции антигенов, соответствующий количеству примеров в обучающей выборке.

Каждый элемент множества Ag – пример из обучающей выборки, представленный в виде вектора фиксированной длины

$$Ag_i = \langle x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i, y^i \rangle, \quad i = \overline{1, S}, \quad (6)$$

где $x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i$ – входные переменные, а y^i – выходная переменная моделируемого объекта для i -го примера обучающей выборки.

Таким образом, в виде популяции антигенов Ag выступает обучающая выборка размерности S относительно входных x_n , $n = \overline{1, N}$ и выходной y переменных.

В качестве антител используются векторы настраиваемых параметров. В одном антителе кодируются все настраиваемые параметры НС: $w_{n,m}$, $w_{o,m}$, $v_{m,k}$, $v_{o,k}$ и λ_m , $n = \overline{1, N}$, $m = \overline{1, M}$. Используется вещественное кодирование антител, при котором каждый параметр вектора антитела описывается отдельным действительным числом.

Для решения задачи используется модель кодирования настраиваемых параметров в виде адаптивного структурированного мультиантитела [8], состоящего из двух частей, каждая из которых может обрабатываться независимо друг от друга (рис. 2).

$w_{1,1}, \dots, w_{1,M}; \dots, w_{N,1}, \dots, w_{N,M}; w_{0,1}, \dots, w_{0,M}; \lambda_1, \dots, \lambda_M$	$v_{1,1}$...	$v_{M,K}$	$v_{0,M}$
ab_0	ab_1	...	ab_M	ab_{M+1}
Часть 1	Часть 2			

Рис. 2. Структура мультиантитела mAb

Популяцию мультиантител представим следующим образом:

$$mAb = \{mAb_1, mAb_2, \dots, mAb_N\}, \quad (7)$$

где $mAb_i = \{ab_0, ab_1, ab_2, \dots, ab_{L-1}\}$, $i = \overline{1, N}$ – i -е адаптивное мультиантитело, представляющее собой структурированный вектор, длина которого изменяется в процессе выполнения иммунного алгоритма;

L – длина вектора mAb_i ;

N – размер популяции мультиантител.

Каждое мультиантитело mAb_i , $i = \overline{1, N}$ популяции характеризуется полным множеством настраиваемых параметров НС.

В части 1 мультиантитела закодированы весовые коэффициенты $w_{n,m}$, значения смещений $w_{o,m}$ и коэффициенты λ_m ; в части 2 закодированы коэффициенты $v_{m,k}$ и смещения $v_{o,k}$. Вторая часть мультиантитела является адаптивной, т.к. в процессе обучения помимо оптимизации коэффициентов, содержащихся в этой части, изменяется и их общее количество, т.е. выполняется структурный синтез.

Структурный синтез, в свою очередь, приводит к изменению количества нейронов в скрытом слое нейронной сети.

Структурированный способ формирования мультиантитела позволяет повысить эффективность иммунного алгоритма за счет раздельного применения иммунных операторов к каждой из частей антитела. Вычисление аффинности выполняется для мультиантитела в целом, оперируя обеими составляющими.

Используется вещественное кодирование параметров антител и антигенов, что позволяет повысить точность решений и уменьшить вычислительную сложность. Размер популяции мультиантител выбирается небольшим, т.к. использование большого количества мультиантител в популяции ведет к большим вычислительным затратам.

В качестве вычислительной модели ИИС используются принципы клонального отбора и сетевого взаимодействия [7].

Согласно принципу клонального отбора антитело, распознавшее антиген, клонируется, и полученные клоны подвергаются мутации. Если в результате мутации аффинность клона улучшается, то соответствующее антитело заменяется своим клоном, т.е. осуществляется клональный отбор. В соответствии с принципом сетевого взаимодействия антитела взаимодействуют не только с антигенами, но и с другими антителами, в результате чего обеспечивается эффект взаимной стимуляции и суппресии, что приводит к сокращению числа нейронов в промежуточном слое НС.

Формально иммунный алгоритм обучения НС можно представить следующим образом:

$$\text{ImmAlg} = (P^L, L, mAb, N, Ag, M, Op, n_c, N_c, d, \delta_{net}, Alph, A, Aff, gen, t), \quad (8)$$

где P^L – пространство поиска;

L – размерность пространства поиска;

mAb – популяция мультиантител вида $mAb = \{mAb_1, mAb_2, \dots, mAb_N\}$;

mAb_i – i -е мультиантитело популяции mAb : $mAb_i = \{ab_0, ab_1, ab_2, \dots, ab_{L-1}\}$;

N – размер популяции мультиантител;

Ag – популяция антигенов вида $Ag = \{Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_M\}$;

M – размер обучающей выборки;

Op – множество используемых иммунных операторов вида

$Op = \{Clone, Mutate, Edit, Suppress\}$;

n_c – количество мультиантител для клонирования;

N_c – количество клонов одного мультиантитела;

d – количество мультиантител с худшей аффинностью, подлежащие замене при редактировании популяции антител;

δ_{net} – коэффициент сжатия сети;

$Alph$ – алфавит, с использованием которого кодируются антитела;

A – мощность алфавита $Alph$;

Aff – функция аффинности;

gen – поколение работы иммунного алгоритма;

t – критерий окончания работы алгоритма.

Алгоритм обучения НС представляет собой итерационную процедуру последовательной идентификации наблюдений из обучающей выборки. Антигены представляют собой примеры обучающей выборки.

Каждое антитело кодирует одно из возможных решений, а количество антител в популяции соответствует количеству примеров в обучающей выборке.

Алгоритм обучения НС представляет собой следующую последовательность шагов:

1. Инициализация популяции мультиантител mAb . Инициализация начальной популяции мультиантител выполняется случайным образом.

2. Вычисление аффинности Aff_{mAb-Ag} для каждого мультиантитела. Для вычисления аффинности мультиантитела необходимо подставить параметры, закодированные в мультиантителе, в НС. На вход НС подаются входные признаки x_n и вычисляются значения выходных переменных y_s . Аффинность мультиантитела mAb с антигеном Ag вычисляется в виде

$$Aff_{mAb-Ag} = (1 + d_{mAb-Ag})^{-1}, \quad (9)$$

где d_{mAb-Ag} – расстояние Хэмминга между полученным значением выхода НС $y_s, s = \overline{1, S}$ и желаемым y для всех S антигенов популяции Ag

$$d_{mAb-Ag} = \sum_{s=1}^S y_s, \text{ где } y_s = \begin{cases} 1, & \text{если } y_s \neq y, \\ 0, & \text{если } y_s = y. \end{cases} \quad (10)$$

3. Клонирование мультиантител пропорционально их аффинности и формирование популяции клонов Cl . Параметрами оператора клонирования являются количество антител для клонирования n и кратность клонирования антитела N_{Cl} . В иммунном алгоритме обучения НС будем использовать фиксированное значение параметра n . Кратность клонирования мультиантитела N_{Cl} будем регулировать в процессе работы иммунного алгоритма в зависимости от аффинности мультиантитела по соотношению

$$N_{Cl} = \alpha * N_{Cl_min} + (1 - \alpha) * N_{Cl_max}, \quad (11)$$

где $\alpha = \frac{Aff_{best} - Aff_{mAb-Ag}}{Aff_{best}}$; N_{Cl_min} и N_{Cl_max} – минимальная и максимальная

кратность клонирования мультиантитела;

Aff_{best} – лучшее значение аффинности в текущем поколении.

4. Мутация клонов обратно пропорционально аффинности мультиантитела и формирование популяции мутированных клонов MC . Мутация выбранных параметров мультиантитела mAb выполняется путем добавления гауссовского шума

$$mAb_{i+1} = mAb_i + N(0, \sigma_i), \quad (12)$$

где σ_i – дисперсия случайной величины, которая ассоциируется с каждым параметром мультиантитела.

Для изменения σ_i используется соотношение

$$\sigma_{i+1} = \sigma_i \frac{Aff_{best}^r - Aff_{mAb-Ag}}{Aff_{best}^r - Aff_{worst}^r}, \quad (13)$$

где Aff_{worst}^r – худшее значение аффинности в текущем поколении.

5. Вычисление аффинности популяции мутированных клонов MC в соответствии с (9).

Если в результате мутации аффинность улучшилась, замена соответствующих мультиантител в популяции mAb .

6. Вычисление аффинности антител внутри части 2 мультиантитела. Супрессия антител, аффинность которых больше заданного порога δ_{net} .

Вычисление аффинности выполняется в соответствии с выражением

$$Aff_{ab_i-ab} = (1 + d_{ab_i-ab})^{-1}, \quad (14)$$

где d_{ab_i-ab} – расстояние между i -м антителом и остальными антителами части 2 мультиантитела

$$d_{ab_i-ab} = \|ab_i - ab_j\| = \sqrt{\sum_{j=1}^M (v_i - v_j)^2}, i = \overline{1, M}. \quad (15)$$

Выполнение супрессии путем удаления антител ab_i с аффинностью, большей заданного порога δ_{net} , позволяет уменьшить количество нейронов в скрытом слое и устранить, таким образом, их избыточность.

7. Проверка критерия останова. В качестве критерия останова используется либо достижение заданного порога аффинности, либо достижение заданного количества поколений работы алгоритма.

8. Результатом работы алгоритма будет мультиантитело с лучшей по популяции аффинностью, определяющее структуру НС и содержащее настроенные параметры НС.

Шаги 1-5 алгоритма соответствуют принципу клонального отбора. Алгоритм на данных этапах работает с обеими частями мультиантитела. Шаг 6 соответствует принципу сетевого взаимодействия.

Если ранее мультиантитело обрабатывалось как обычное анти-тело, то на данном шаге работа выполняется только с частью 2 мультиантитела, которая состоит из отдельных антител, представляющих собой параметры $v_{m,k}$, $m = \overline{0, M}$, $k = \overline{1, K}$.

В процессе функционирования ИСППР возможно изменение характеристик окружающей среды и свойств исследуемого объекта.

В этом случае необходимо адаптировать систему под эти изменения, т.е. осуществлять ее эволюцию.

Для эволюции модели ИСППР предлагается использовать предложенную процедуру обучения НС на основе ИИС, но в качестве обучающей выборки на вход будут поступать реальные значения входных факторов системы, функционирующей в реальном режиме времени.

Это позволит корректировать в реальном времени структуру (число нейронов в скрытых слоях) и параметры ИСППР.

Экспериментальные исследования. В качестве тестовой рассматривалась задача проектирования и анализа локальной компьютерной сети (ЛКС), которая является примером трудно формализуемой задачи, для решения которой необходим интегрированный подход, позволяющий рационально сочетать математические и логические методы исследования сложных систем, интуицию и опыт ЛПР с использованием новых методов представления знаний, прогноза и оценки альтернативных вариантов решений.

При проектировании ЛКС существует ряд важных вопросов, которые подлежат рассмотрению перед реализацией данной задачи.

К таким вопросам относятся выходные параметры, которым должна удовлетворять ЛКС, и начальные условия (входные параметры), которые задаются непосредственно перед процессом проектирования.

Анализ проектирования ЛКС позволил выделить начальные условия, наиболее существенные из которых следующие: x_1 – стоимость компьютерной сети; x_2 – количество и расположение пользователей; x_3 – простота установки и изменения конфигурации сети; x_4 – пропускная способность сети; x_5 – надежность сети; x_6 – безопасность сети; x_7 – возможность расширения сети.

Исходя из требований проектирования ЛКС, имеем следующие основные выходные параметры: 1) сетевая операционная система (ОС); 2) топология сети; 3) сетевая технология.

Варианты выбора ОС: 1) Novell NetWare; 2) Microsoft Windows (NT, Vista, 7, 8, 10); 3) UNIX системы (Solaris, FreeBSD); 4) GNU/Linux системы; 5) IOS; 6) ZyNOS компании ZyXEL.

Варианты выбора топологии сети: 1) звезда; 2) шина; 3) кольцо; 4) дерево; 5) полносвязная; 6) ячеистая; 7) смешанная.

Варианты выбора сетевой технологии: 1) Ethernet; 2) Token Ring; 3) FDDI.

Реализация данной задачи методом простого перебора вариантов неприменима, поскольку комбинаторная емкость перебора составляет несколько порядков.

Более того, большая часть комбинаций вариантов никогда не будет реализована из-за высоких материальных затрат.

Поэтому реализация была выполнена с применением эволюционирующих нейронных сетей.

Задача условно была разбита на три параллельные задачи, каждая из которых решает проблему по одному из трех выходных параметров. При этом каждый из выходных параметров может определяться значениями не всех 7 входных, а только нескольких из них.

Для каждой из трех задач была создана своя нейронная сеть, содержащая определенное число входов и выходов, например, для выбора ОС – это 7 и 6 соответственно.

Количество скрытых слоев – один, содержащий 15 и более нейронов. Структура спроектированной НС для определения ОС приведена на рис. 2.

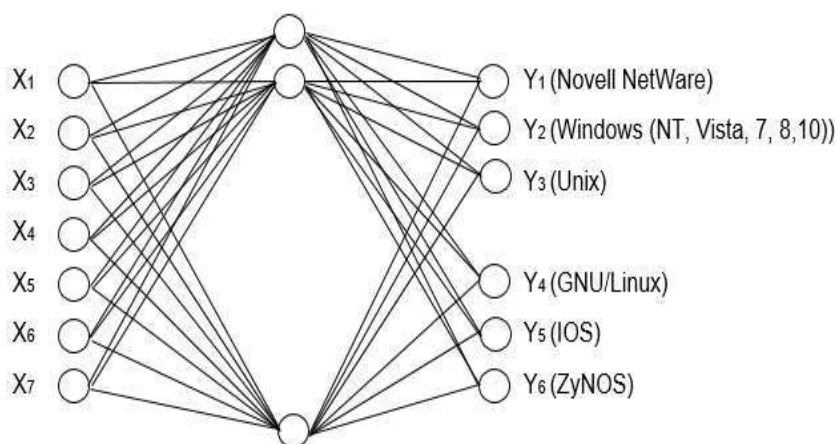


Рис. 2. Структура нейронной сети для определения ОС

Для каждой из сетей созданы обучающие выборки, содержащие не менее 50 вариантов. Начальные значения всех весов нейронной сети определялись случайным образом в диапазоне от -0,5 до +0,5.

На выходе каждый вариант обучающей выборки имеет комбинацию из нулей и одной единицы.

Так, например, если производится выбор ОС, то НС имеет 6 нейронов на выходе, а вариант «0001000» соответствует решению «GNU/Linux системы».

После создания нейронных сетей каждая из них обучается с помощью ИИС согласно своей обучающей выборке, достигая заданного предела обучения.

Число эпох обучения сети зависит не только от значения предела, но и от количества вариантов в выборке.

При проверке, достигла ли сеть предела обучения, результат, полученный на некотором шаге, дает ошибку по каждому из вариантов выборки, поэтому при увеличении числа вариантов сеть учится дольше.

После окончания процесса обучения подача на вход варианта из набора входных переменных формирует результат из трех параметров.

Таким образом, проведенные исследования показали, что многослойные модульные нейронные сети персептронного типа с иммунным обучением целесообразно использовать для прогнозирования возможных вариантов решений при выборе параметров ЛКС, при этом наблюдается высокая устойчивость получаемых результатов.

Выводы. В работе рассмотрено решение актуальной задачи повышения качества функционирования ИСППР на основе использования нейронных сетей и искусственных иммунных систем для формирования модели принятия решений и эволюции ее структуры и параметров в условиях изменения внешней среды и свойств объекта принятия решений.

Эффективность решения этой задачи определяется выбором модели принятия решений в виде многослойной нейронной сети, а также разработкой метода ее обучения и эволюции на основе иммунного подхода.

Эволюция модели ИСППР рассматривается как задача ее адаптации к условиям изменения внешней среды и свойств объекта принятия решений, состоящая из процедур коррекции структуры (числа нейронов в скрытых слоях) и параметров модели системы, использующих иммунные модели клонального отбора и иммунной сети.

Осуществлена программная реализация и проведены экспериментальные исследования предложенного подхода на примере проектирования локальной компьютерной сети, которые подтвердили эффективность предложенной эволюционной модели ИСППР, использующей нейросетевой и иммунный подходы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Снитюк В.Е. *Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности* / В.Е. Снитюк. – К.: МП Леся, 2015. – 347 с.
2. Стадниченко С.Ю. *Интеллектуальные системы поддержки принятия решений* / С.Ю. Стадниченко // *Молодой ученый*. – 2010. – № 6. – С. 61-63.
3. Комарцова Л.Г. *Эволюционные методы формирования нечетких баз правил* / Л.Г. Комарцова // *Материалы международной конференции OSTIS-2011*. – 2011. – С. 181-184.

-
4. Комарцова Л.Г. Исследование нейросетевых алгоритмов обучения в интеллектуальных эволюционных системах / Л.Г. Комарцова, Ю.Н. Лавренков, О.В. Антипова // *Материалы IV-й международной конференции OSTIS-2014.* – 2014. – С. 233-238.
 5. Korablev N.M. *Intelligent Evolution Decision Support System based on Fuzzy Logic and Immune Approach* / N.M. Korablev, D.N. Soloviov, R.R. Malyukov // *System technologies – Dnipro.* – 2016. – № 6 (107). – P. 98-106.
 6. Бодянский Е.В. *Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения* / Е.В. Бодянский, О.Г. Руденко. – Харьков: ТЕЛТЕХ, 2004. – 372 с.
 7. Dasgupta D. *Recent Advanced in Artificial Immune Systems: Models and Applications* / D. Dasgupta, S. Yu, F. Nino // *Applied Soft Computing.* Elsevier. –2011. – P. 1574-1587.
 8. Korablev N. *Immune Approach for Neuro-Fuzzy Systems Learning Using Multiantibody Model* / N. Korablev, I. Sorokina // *ICARIS 2011, Springer Lecture Notes in Computer Science.* – 2011. – Vol. 6825. – P. 395-405.

Стаття надійшла до редакції 03.09.2017

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ
ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАНОЙ ТОЛЩИНЫ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ В ЭКСТРУЗИОННЫХ ЛИНИЯХ**

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ
ФОРМУВАННЯ ЗАДАНОЇ ТОВЩИНИ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ
ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ В ЕКСТРУЗІОННИХ ЛІНІЯХ**

**IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF EXTRUSION LINES
FOR THE PRODUCTION OF PLASTIC PIPES**

Р.К. МАМЕДОВ, докт. техн. наук, **Р.З. НОВРУЗОВА**

*Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности, Азербайджан*

У статті поставлено завдання підвищення точності формування заданої товщини стінок поліетиленових труб. Запропоновано конструктивні, алгоритмічні та програмні методи розв'язання задачі. Відзначено дестабілізуючі фактори, що впливають на точність формування заданої товщини стінки труб, і запропоновані способи усунення основних факторів, що впливають на виникнення помилок при виробництві пластикових труб.

Ключові слова: екструзія, пластикові труби, товщина стінки, дозатор, похибка.

В статье поставлена задача повышения точности формирования заданной толщины стенок полиэтиленовых труб. Предложены конструктивные, алгоритмические и программные методы решения задачи. Отмечены дестабилизирующие факторы, влияющие на точность формирования заданной толщины стенки труб, и предложены способы устранения основных факторов, влияющих на возникновение ошибок при производстве пластиковых труб.

Ключевые слова: экструзия, пластиковые трубы, толщина стенки, дозатор, погрешность.

The article poses the task of increasing the accuracy of forming a given wall thickness of polyethylene pipes. The constructive, algorithmic and software methods for solving the problem are proposed. The destabilizing factors affecting the accuracy of forming a given pipe wall thickness have been noted and methods for eliminating the main factors affecting the occurrence of errors in the production of plastic pipes have been proposed.

Keywords: extrusion, plastic pipes, wall thickness, dispenser, error.

Введение. Полиэтиленовые трубы разной толщины благодаря высоким техническим характеристикам, удобству применения и доступной цене широко применяются в различных отраслях экономики. Они имеют следующие преимущества перед стальными трубами: малый удельный вес; низкая стоимость; долговечность; простота монтажа; коррозионная стойкость; гигиеничность.

Однако, имеются некоторые слабости полиэтиленовых труб перед стальными. Одним из этих недостатков является недостаточная прочность полиэтиленовых труб.

На прочность полиэтиленовых труб во многом влияет точность формирования толщины стенки трубы, которая в силу действия различных дестабилизирующих факторов на сегодня недостаточна [1; 2; 3].

В силу того, что существующие системы управления экструзионными линиями производства полиэтиленовых труб не позволяют достичь определенной точности формирования заданной толщины труб, нами разработаны меры для повышения точности формирования заданной толщины полиэтиленовых труб.

Постановка задачи. На сегодня для производства пластиковых труб из полиэтилена используются следующая структура трубной экструзионной линии. Погрешность формирования толщины пластиковых труб при использовании этой линии составляет 1 %.

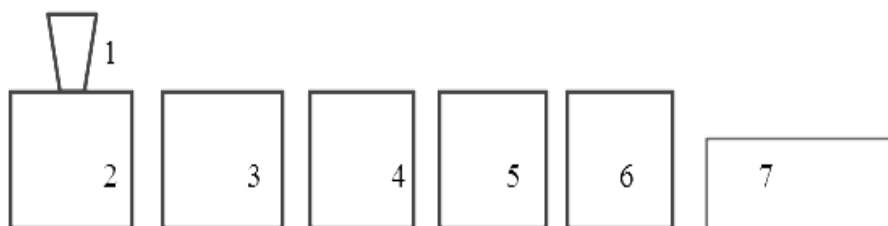


Рис.1. Структура трубной экструзионной линии

Изложение основного материала. На рис.1 приняты следующие обозначения: 1 – бункер; 2 – экструдер; 3 – вакуумная ванна; 4 – охлаждающая ванна; 5 – тянущий механизм; 6 – отрезной механизм с планетарным режущим агрегатом; 7 – откидной стол.

Линия работает следующим образом.

Сырье засыпается в бункер на экструдере.

Тензодатчик гравиметрического дозатора для измерения веса сырья прикреплен к бункеру, который соединен с шасси линии. Экструдер состоит из шнека с цилиндром и нагревателей для придания трубе необходимой формы. Путем разогрева сырья и посредством шнека сырье двигается в полости цилиндра. Затем сырье в расплавленном виде попадает в формирующую головку, где оно принимает вид полый трубы.

Посредством вакуумной ванны и калибратора расплавленный материал, прижимаясь посредством вакуума к стенкам калибратора, принимает вид трубы с необходимым диаметром.

Тянущее устройство, растягивая расплавленный материал, обеспечивает формирование заданной толщины стенки трубы. После того, как длина трубы достигнет 12 м, труба отрезается с помощью планетарного режущего агрегата и посредством роликового стола перемещается до изъятия трубы для дальнейшей транспортировки.

В течение всего процесса труба до тягача принудительно охлаждается в водяной ванне. Пластичные материалы при охлаждении имеют усадку, которая обычно составляет 1-2 %. Поэтому толщина стенки трубы измеряется только после полного ее остывания с помощью измерительных инструментов (штангенциркуля, рулетки и т.д.).

Экструзионная линия для производства пластиковых труб оснащена автоматической системой контроля.

В ее состав входит микропроцессор, пульт управления клавиатурой, а также блок памяти, в который закладываются различные технологические параметры. Это дает возможность производить на одной линии изделия с различными характеристиками. Для этого достаточно ввести в блок памяти соответствующую программу [4].

Для решения поставленной задачи был проведен анализ причин возникновения погрешностей формирования толщины стенок труб.

Для этого анализируется работа автоматической системы контроля, которая состоит из 2 частей, связь между которыми осуществляется СОМ портами: операторская панель и программный логический блок (ПЛК).

Данные блоки работают под управлением программ, которые в свою очередь состоят из 2 частей.

Первая часть программ записывается в операторскую панель, а вторая – в PLC. Записанная первая часть программ подразделяется на несколько частей. Они состоят из страниц, которые отображаются на операторской панели для визуализации, и ввода данных операторами. Вторая часть программ непосредственно заносится в PLC.

Для упрощения написания программы используется язык программирования LAD (LadderDiagram). Программа, которая заносится в PLC, управляет драйверами на основе сбора данных от датчиков. Весь этот процесс синхронизируется в режиме реального времени.

Ниже описаны и приведены части программ с пояснениями и алгоритмом работы всего процесса.

Рассмотрим пример. Используемые блоки GMT операторская панель. ПЛК фирмы GMT. Программное обеспечение GMT soft версии 2.3, для операторской панели, а для ПЛК GMT версии 5.0.1.4.

Связь между блоками осуществляется с помощью сом порта PPI кабелей. В свою очередь ПЛК имеет свои расширения ввода-вывода и связь между исполнительными органами осуществляется экранированными проводами для помехоустойчивости системы. В качестве устройства ввода для ПЛК являются тензодатчик, тахогенератор, сенсоры. А для вывода драйвера и релейная сборка.

При первом включении станка открывается монитор. После выбора языка оператором открывается второе окно. Здесь мы видим области для ввода температурных режимов, визуализации реальных температур, оборотов шнека, скорости тянущего механизма, силы тока двигателей и т.д.

Оператор первым делом вводит нужные данные температур, предписанные сертификатом на сырьё, далее после прогрева цилиндра линия считается готовой к работе. Если температуры не достигли заданных величин, программа не даст возможности для включения двигателей шнека. Это является аварийной ситуацией для шнека. После прогрева, контрольно включается шнек, и задаются обороты шнека. На главном окне операторской панели есть два варианта работы. Первый вариант ручной, а второй автоматический (весовой дозатор).

После того как оператор в ручном режиме опробовал линию он нажимает кнопку гравиметрического контроля и вводит диаметр, толщину стенки трубы. Далее программа, записанная в мониторе, передаёт вводимые оператором данные в ПЛК, где и обрабатывается вводимая информация, вычисляется вес на 1 погонный метр трубы и ПЛК выдаёт драйверам тянущего устройства значение скорости, с которым должен тянуть тянущее устройство. Вся эта процедура управляется в автоматическом режиме.

Весь процесс происходит синхронно во времени. При написании программы учитываются ошибки операторов с возможностью исключения аварийных ситуаций.

Когда оператор вводит данные о диаметре и толщине стенки трубы, ПЛК посредством данных оператора и данных с тензодатчика вычисляет реальную весовую отдачу с установленным весом и при их совпадении даёт команду драйверу двигателя тянуть трубу с той скоростью, при которой соблюдалось бы условие веса в 1 погонный метр. Программист пишет условия, формулы, а также привязывает все эти данные ко времени.

Подробный анализ всего процесса показывает, что формирование толщины стенок пластиковых труб с погрешностью в пределах ГОСТа в существующих экструзионных линиях достигается лишь ценой перерасхода сырья или же после шестиметрового отрезка трубы.

$$\sigma = f\left(v, \Delta p, \Delta T_r, \frac{\partial T_r}{\partial t}, \Delta T_c, \frac{\partial T_c}{\partial t}, \frac{\partial V_d}{\partial t}, \Delta m\right), \quad (1)$$

где v – вибрация экструзионной линии;

$\Delta\rho$ – абсолютное изменение плотности сырьа;

$\frac{\partial V_d}{\partial t}$ – нестабильность скорости тягача;

Δm – нестабильность массы сырьа.

Все эти нестабильности так или иначе влияют на точность формирования заданной толщины трубы.

Для повышения точности формирования заданной толщины труб предложены способы устранения этих недостатков.

Поскольку в гравиметрическом дозаторе для измерения веса тензодатчик прикреплен к бункеру, который соединен с шасси линии, то возникают вибрации, которые приводят к дополнительной погрешности формирования толщины стенок труб.

Предложено использовать дополнительный бункер, который механически не соединен с экструзионной линией. Сырье засыпается в дополнительный бункер, а оттуда поступает в основной бункер.

В этом случае вибрация дополнительного бункера не происходит. Тензодатчики для гравиметрического весового дозатора в существующих линиях устанавливаются под бункером экструдера или подвешиваются над бункером, что является недопустимым с точки зрения вибрационных помех, оказывающих влияние на тензодатчик.

Предлагается тензодатчики устанавливать в танкер, откуда будет транспортироваться сырье в бункер.

Для решения проблемы с нестабильностью плотности сырьа было изменено программное обеспечение и внесены дополнительные параметры (плотность сырьа из сертификата происхождения на сырье).

Теоретическая масса одного погонного метра трубы определяется следующим образом [5]:

$$m = \pi * (d - s) * s * \frac{\rho}{1000}, \quad (2)$$

где m – теоретическая масса одного погонного метра трубы в кг;

$\pi = 3,14$ (постоянная величина);

d – наружный диаметр трубы в мм;

s – толщина стенки трубы в мм;

ρ – плотность материала в г/см.

Для стабильности длины и толщины стенки трубы с возможным браком предложено контролировать вес сырьа (0,219 кг) на изготовление каждого 10 см трубы вместо контроля веса сырьа (2,190 кг) на изготовление 1-го погонного метра трубы.

Для этого установлен гравиметрический дозатор с соответствующими тензодатчиками и мостовой измерительной схемой. В программу занесены соответствующие изменения.

Предлагаемый метод заключается в автоматизации производства путем формирования стандартной толщины стенки трубы путем контроля веса ее погонного метра.

Приведем пример: $\Phi 110\text{PN}10 \text{ S} = 6,6 \text{ м} = 2,190 \text{ кг}$.

Из примера видно, что для формирования толщины стенки трубы, равной 6,6 мм при ее длине в 1 метр требуется 2,19 кг сырья.

Для реализации этого метода будем использовать датчик веса, систему управления тянущим устройством и тахогенератор для обзора и управления скоростью перемещения трубы на линии.

Отметим, что ГОСТ по пластиковым трубам гласит, что труба в зависимости от диаметра должна иметь определенную толщину стенки с допустимым разбросом в положительную сторону.

Таким образом, для трубы $\Phi 110 \text{ PN}10$, толщина стенки должна быть 6,6 мм+0,8 мм, то есть min 6,6 мм и max 7,4 мм.

Гравиметрия INOEX дает результат в пределах этих толщин, а именно – 7,2 мм, что приводит к перерасходу сырья.

Это происходит по следующей причине.

При приближении толщины стенки трубы к отметке 6,6 мм, операторам линий приходилось на операторской панели с помощью дозатора уменьшать вес поступающего сырья, чтобы приблизиться к нижнему пределу толщины стенки и, тем самым, уменьшить перерасход сырья.

Это требовало от операторов линий высокой квалификации и приводило к риску выхода толщины стенки за допустимые пределы.

Для уменьшения длины трубы с возможным браком с 6 м до 10 см предложено контролировать вес сырья (0,219 кг) на изготовление каждые 10 см трубы вместо контроля веса сырья (2,190 кг) на изготовление 1-го погонного метра трубы.

Рассмотрим процессы, которые происходят с сырьем при его нагревании.

Сырье имеет твердый вид гранул фракции 4-5 мм и завозится в мешках по 25 кг.

К сырью прилагается сертификат соответствия, в котором указываются его технические и химические данные.

В сертификате сырья указывается процент влажности.

Сырье засыпается в бункер, который прикреплен к экструдеру. Экструдер состоит из цилиндра, внутри которого вращается червяк.

Сам цилиндр нагревается за счет нагревателей, размещенных на цилиндре. Зоны нагрева 6-8. Температура нагрева указывается в сертификате и колеблется в диапазоне 190⁰-210⁰.

Перемещаясь в полости цилиндра, сырье, расплавляясь, движется к головке.

1. В конце головки оно полностью расплавляется и приобретает вид мягкой монолитной массы.

При выходе из головки оно естественно теряет массу. Масса отличается от ее первоначального состояния.

Происходит это из-за испарений, после разогрева. Из опытов, сделанных на заводе Croplast г. Баку, были получены данные, показанные в табл. 1.

Таблица 1

Данные опытов на заводе Croplast

Температура плавления, С ⁰	Время выдержки, Т _{мин.}	Потеря массы, %
190	15	0,028
200	15	0,031
210	15	0,032

При нагреве испаряется не только влага, но и некоторые компоненты пластика.

Пластик тоже меняет свой объем, увеличиваясь, достигает 16-21 % при 210⁰ от первоначального состояния при 23⁰. После ее остывания до 23⁰ сырье подвергается усадке, которая составляет 16-21 %.

Выйдя в виде мягкой монолитной массы, сырье входит в калибратор, где оно, прижимаясь к стенкам калибратора, принимает вид полой трубы. Происходит это за счет вакуум-насосов.

Двигаясь дальше по линии, труба за счет принудительного водяного охлаждения охлаждается до 23⁰.

И далее режется на отрезки. Как мы наблюдаем, сырье претерпевает три состояния: твердое, мягкое разогретое и твердое первоначальное.

При изменении его состояния оно меняет свой вес Δm и объем Δv .

Из-за потери Δm , которое составляет $\approx 0,03\%$, оно теряет и объем Δv .

Нестабильность терморегуляторов, которые неравномерно разогревают сырье в полости цилиндра, способствует задерживанию сырья и неравномерному движению сырья в экструдере, которые в свою очередь влияют на скорость выхода массы сырья из головки.

Тянущее устройство при протяжке трубы имеет тоже свои погрешности. Причины заключаются в перепадах напряжения, переменной нагрузки и проскальзывании трубы из-под гусениц тянущего устройства.

В табл. 2 даны результаты исследований поведения тягача в течение 1 часа.

Таблица 2

Результаты исследований поведения тягача в течение 1 часа

Перепад напряжения, В	Нагрузки, А	Буксовка, мм
384	7,3	1,2
396	7,8	1,16

В табл. 3 даны результаты сравнения толщины стенки при производстве трубы гравиметрического контроля фирмы INOEX и фирмы Croplast.

Таблица 3

Результаты сравнения толщины стенки при производстве трубы гравиметрического контроля фирмы INOEX и фирмы Croplast

Толщина стенки по ГОСТ, мм	INOEX	Croplast
6.6	7,2	6,8
42.1	45,6	42,7

Таким образом, влияние всех трех факторов на погрешность формирования толщины стенки трубы были частично устранены.

Предложенные решения были реализованы при производстве пластиковых труб на заводе «Croplast» (г. Баку).

Выводы. В представленной статье предлагается более практичный способ повышения точности заданной толщины полиэтиленовых труб в экструзионных линиях.

В результате реализации этого подхода уменьшается погрешность формирования толщины труб, экономится сырье, повышается производительность и уменьшаются финансовые затраты (на электричество и рабочую силу).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Техника и технология производства полимерных труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.Kazgp.ru/teoriya/31-tehnika_i_tehnologiya_proizvodstva_polimernyh_trub.html*
2. *Технические характеристики труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kazgp.ru/teoriya/25-tehnicheskie_harakteristiki_trub.html*
3. *Экструзионные линии для производства труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://newpostavka.ru/linii_po_proizvodstvu/proizvodstvo_trub*

4. Мамедов Р.К. Усовершенствование систем контроля экструзионных линий для производства пластиковых труб / Р.К. Мамедов, Р.З. Новрузова // Приборы и Системы. Управление, Диагностика и Контроль. – 2016. – № 10. – С. 46-48.
5. Бронштейн И.Н., Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2017

**МЕТОД ПРОТИАВАРІЙНОГО КЕРУВАННЯ
СКЛАДНИМИ ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ**

**МЕТОД ПРОТИВОАВАРІЙНОГО УПРАВЛЕННЯ
СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**

**METHOD FOR ANTIFAUULT CONTROL
OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS**

В.В. ВЫЧУЖАНИН, докт. техн. наук, **С.Н. КОНОВАЛОВ**

Одесский национальный морской университет, Украина

Запропоновано метод протиаварійного керування складними технічними системами (СТС) на основі гібридних експертних систем (ГЕС), що включають нейронні мережі (НМ) і нечітку логіку з використанням бази даних (БД) і автоматизованої бази знань (БЗ).

Розроблена протиаварійна система управління СТС на основі ГЕС використовує переваги відомих методів ГЕС і протиаварійного керування, компенсуючи недоліки один одного.

Ключові слова: *складна технічна система, протиаварійне управління, діагностика, прогнозування, гібридна експертна система, нейронні мережі, нечітка логіка, база даних, база знань.*

Предложен метод противоаварийного управления сложными техническими системами (СТС) на основе гибридных экспертных систем (ГЭС), включающих нейронные сети (НС) и нечёткую логику с использованием базы данных (БД) и автоматизированной базы знаний (БЗ).

Разработанная противоаварийная система управления СТС на основе ГЭС использует достоинства известных методов ГЭС и противоаварийного управления, компенсируя недостатки друг друга.

Ключевые слова: *сложная техническая система, противоаварийное управление, диагностика, прогнозирование, гибридная экспертная система, нейронные сети, нечёткая логика, база данных, база знаний.*

A method for antifault control of complex technical systems (CTS) is proposed using hybrid expert systems (HES), which are built on the basis of neural networks (NN) and fuzzy logic that uses databases (DB) and automated knowledge bases (KB). This method uses monitoring, diagnostics and forecasting of the CTS data, calculating its operability.

Then the reliability of the system under consideration is determined from the obtained data. Also, the system is capable of self-learning. Proceeding from this, with the help of a multi-agent control system, the system is influenced to avoid emergencies.

As a result, the CTS emergency control system was developed that combines the advantages of the previously known HES and antifault control methods, which complement each other's advantages and compensate each other's shortcomings.

Keywords: *hybrid expert system, neural networks, fuzzy logic, database, knowledge base, antifault control, diagnostics, forecasting, complex technical system.*

Introduction. The modern vessel contains numerous CTS [1; 2], affecting the efficiency of ship operation.

The safety of navigation is largely related to ensuring the operability, and hence the reliability of operation of their CTS.

Variable modes and operating conditions of the CTS often lead to a decrease in the operability of systems, an increase in the probability of failure of systems and their elements [3; 4; 5; 6].

Increasingly, for antifault control of the CTS are using HES, taking into account their multifunctionality [2; 7; 8].

From this it follows that the development of a HES, capable of avoiding such difficulties at the stage of creation and at the same time, qualitatively processing information, is today quite relevant.

Analysis of major achievements and literature. Different methods of decision making are combined in the HES: genetic algorithms, NN, etc.

NN is successfully applied in a wide variety of fields. They have entered into practice wherever it is necessary to solve the tasks of forecasting, classification or management [9].

The main drawback of systems with fuzzy logic is the impossibility of adaptation and training.

However, this is replaced by the merit of methods with NN – fast learning and adaptation [10], as well as: broad possibilities and ease of use [9].

Their main drawback is the need to attract a training sample, the size and reliability of its elements affect the quality of the forecast [11].

The knowledge accumulated by the HC is distributed among all its elements, which makes them practically inaccessible to the observer.

At the same time, such a defect has no control systems with fuzzy logic [10].

From the analysis of literature sources, the relevance of developing a method for antifault control of CTS on the basis of HES, including neural networks and fuzzy logic using a database and an automated knowledge base, follows.

Purpose of the study, statement of the task. Development of a method for antifault control of CTS on the basis of HES, including NN and fuzzy logic with the use of a DB and an automated KB.

Research materials. In accordance with the developed method, HES interacts with a multi-agent antifault control (AFC) system (fig. 1).

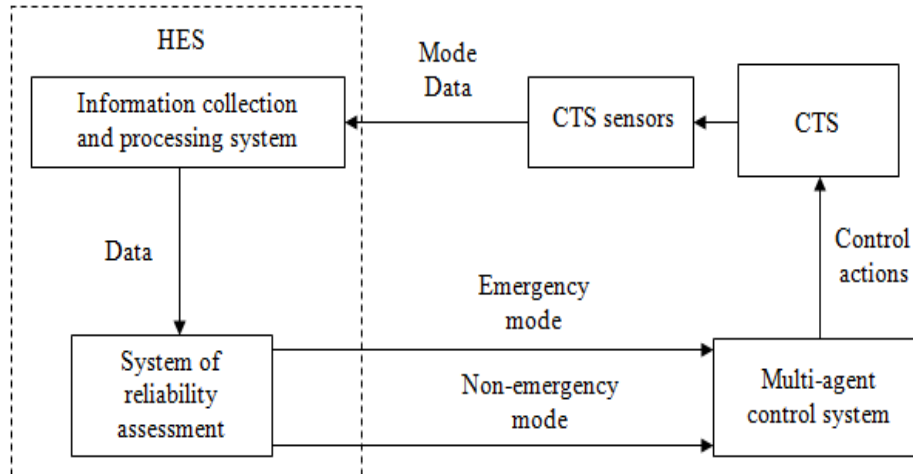


Fig. 1. Structure of the AFC circuit on the basis of HES

The solution of the task of assessing the reliability of the CTS within the framework of the HES is a consistent solution of such tasks:

- tuning HES;
- construction of hierarchy of CTS structures;
- the choice of the solution method for each structure;
- formation of the KB for all methods used;
- calculation of assessments;
- interpretation and explanation of the assessments obtained.

An example of the structure of such a system (fig. 2).

The assessments of the technical state of the CTS is determined by the dependence [12]

$$P = F^P(p_1, p_2, \dots, p_m), \quad (1)$$

where P – CTS operability;

$F(\)$ – function of formalized dependence;

p_1, p_2, \dots, p_m – calculation assessments of the operability of technical nodes of the CTS;

m – number of calculated assessments.

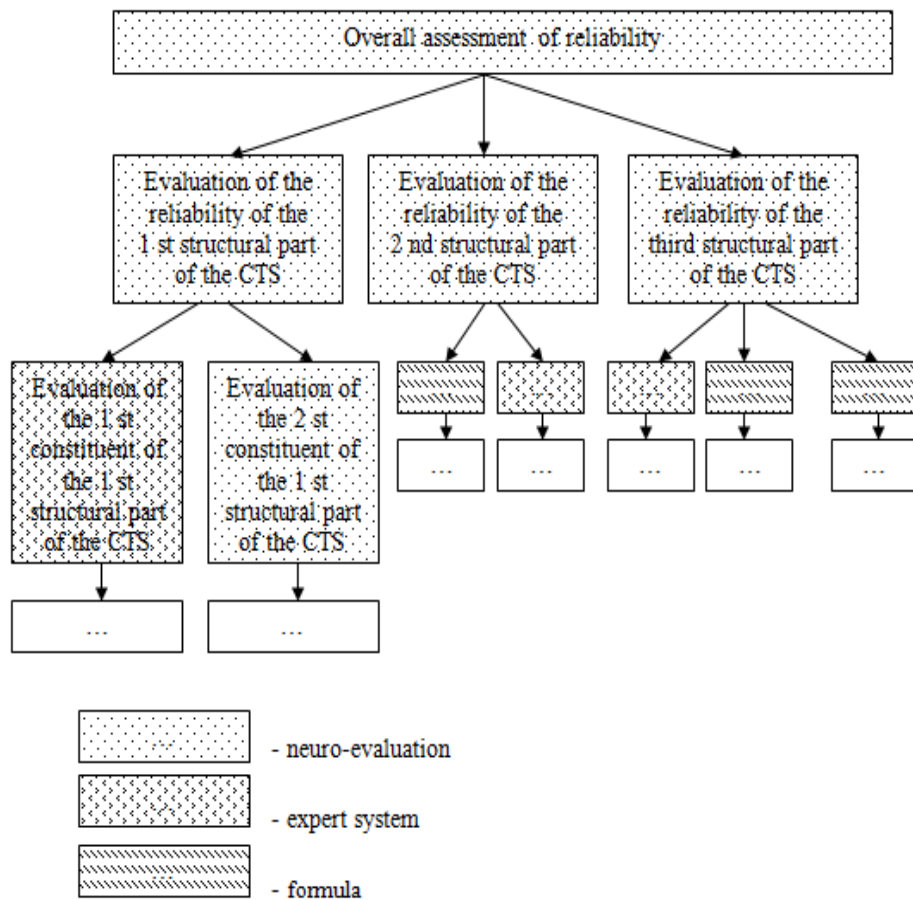


Fig. 2. Structure of the CTS reliability assessment model

The calculation assessment of the operability of each technical node of the CTS is based on the parameters of these nodes, as well as their type (linguistic, non-linguistic). Depending on this, each assessment of the operability is based on an automated expert KB, where the calculations for the variables are analyzed, and then the final result of the assessment performance evaluation is derived based on the received calculations using a NN.

Mathematically, this is expressed by the following formula:

$$p_m = N(F_{m1}(x_{m11}, \dots, x_{m1n}), \dots, F_{mh}(x_{mh1}, \dots, x_{mhk}), y_{m11}, y_{m12}), \quad (2)$$

where $N(\)$ – NN function;

x, y – variable parameters of the technical node CTS;

h – number of functions for a given node;

n, k – number of variables for each function.

HES processes incoming information into it at equal intervals, in the form of variables from CTS sensors (linguistic and non-linguistic) and variables of external factors that affect the value of the error in the operation of the system.

Also, on the basis of the critical values of these variables, abnormal (emergency) situations occurring in the operation of the CTS can occur.

$$P(t_i) = \langle X(t), Y(t), F(t) \rangle, \quad (3)$$

where $X(t) = \{x_1(t_i), x_2(t_i), \dots, x_n(t_i), i \in [1; T]\}$ – set of non-linguistic variables at time t_i ;

n – number of non-linguistic variables;

T – number of moment of time;

$Y(t) = \{y_1(t_i), y_2(t_i), \dots, y_m(t_i), i \in [1; T]\}$ – set of lin-guistic variables at time t_i ;

m – number of linguistic variables;

$F(t) = \{f_1(t_i), f_2(t_i), \dots, f_h(t_i), i \in [1; T]\}$ – set of external factors affecting the operation of the system at time t_i (error);

h – number of factors;

$P(t_i), i \in [1; T]$ – the value of operability at time t_i .

Emergency and abnormal situations arising during the operation of the CTS are formed at critical values of one or several sensor variables from the structural parts of the CTS, or environmental variables that affect the operation of the system. Dependence of abnormal situations on the variables of the CTS and external variables is described by the formulas given below.

$$S(t) = [X(t), Y(t), F(t)], \quad (4)$$

where $S(t) = \{s_1(t_i), s_2(t_i), \dots, s_k(t_i), i \in [1; T]\}$ – set of possible situations that can arise during the operation of the system at time t_i ;

k – number of situations

It follows from the formulas obtained that the variables, both external and internal (linguistic and non-linguistic), form the value of operability, and at the same time can create local emergency or abnormal situations in one or several parts of the CTS structure, which as a whole forms the reliability of the CTS (emergency or non-emergency modes).

The influence of variables on the value of operability and the formation of various situations occurring in the system is described by formulas

$$(F(t) \cap X(t) \cap Y(t)) \rightarrow \begin{cases} S(t) \\ P(t_i), i \in [1; T] \end{cases} \quad (5)$$

Wherein:

$$X(t) \rightarrow [p_1(t_i), p_2(t_i), \dots, p_m(t_i)] \quad (6)$$

$$Y(t) \rightarrow Y(t_i) \quad (7)$$

$$F(t) \rightarrow \Delta(t_i), \Delta(t_i) \in [0; 1] \quad (8)$$

where $p_1(t_i), p_2(t_i), \dots, p_m(t_i)$ – calculation assessments of the operability of the technical nodes of the CTS at time t_i ;

$Y(t_i)$ – general linguistic variable at time t_i ;

$\Delta(t_i)$ – error in the calculation of the value of operability at time t_i .

The reliability of the work of CTS is affected by the value of its operability, consisting of calculated assessments of the operability, the general linguistic variable and the error of operability. Based on this, it is possible to compile a hierarchy of factors that affect the reliability of the system (fig. 3).

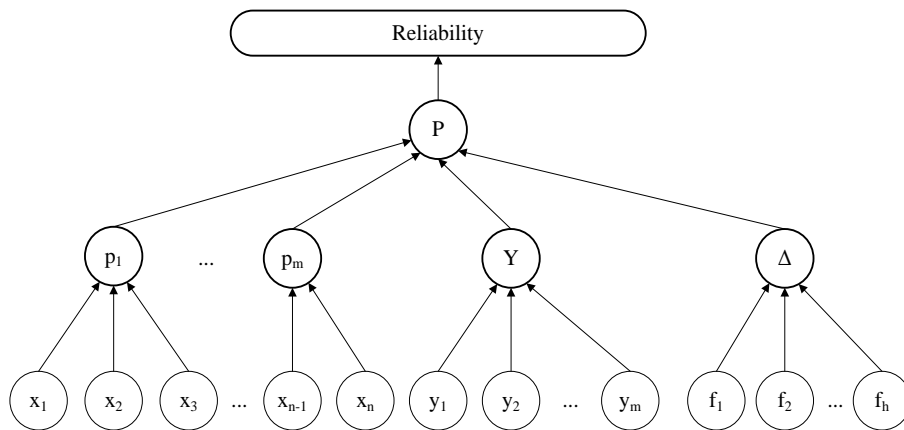


Fig. 3. Hierarchy of factors affecting the reliability of the CTS

For linguistic variables and external factors, ranges of their values are formed.

When developing HES designed to implement antifault control, expert opinions are taken into account when choosing technical criteria for the structural parts of the CTS, the values of which are taken into account based on the degree of their impact on the operability of the CTS.

Separately for linguistic variables and external factors, expert KB are formed on the basis of the «if-then» rules, where, taking into account the values of linguistic and external variables, set the value of the general linguistic variable (table 1) and the errors in calculations (table 2), respectively.

Table 1

Fuzzy knowledge base for linguistic variables

y_1	y_2	...	y_m	Y
H	H	...	H	H
M	AM	...	M	BM
...
L	L	...	L	L

Table 2

Fuzzy knowledge base for external variables

f_1	f_2	...	f_h	Δ
H	H	...	H	H
H	AM	...	BM	M
...
L	L	...	L	L

In table 1 and table 2 H , M , L – high, medium and low value of the variable, respectively; AM , BM – the value of the variable above and below the average, respectively.

The coefficients of calculation assessments of the operability are selected by experts using the Saaty pair comparison method [13].

As a result of the calculations, we obtain the weight coefficients for calculation assessments of the operability, taking into account the values of the general linguistic variable (table 3).

In Table 3 w_{Y1}, \dots, w_{Y5} – weight coefficients of the general linguistic variable for different values of Y ; w_{11}, \dots, w_{m5} – weight coefficients of calculation assessments of the operability for different values of Y .

Taking into account the carried out researches, operability at the moment of time is calculated by the formula

$$P(t_i) = \Delta(t_i) (w_{Yj} \cdot Y(t_i) + w_{1j} \cdot p_1(t_i) + w_{2j} \cdot p_2(t_i) + \dots + w_{mj} \cdot p_m(t_i)) \quad (9)$$

Table 3

Weighting factors of calculation assessments of the operability and the general linguistic variable Y , taking into account the values of Y

The value of Y	Y	p_1	p_2	...	p_m
H	w_{Y1}	w_{11}	w_{21}	...	w_{m1}
AM	w_{Y2}	w_{12}	w_{22}	...	w_{m2}
M	w_{Y3}	w_{13}	w_{23}	...	w_{m3}
BM	w_{Y4}	w_{14}	w_{24}	...	w_{m4}
L	w_{Y5}	w_{15}	w_{25}	...	w_{m5}

At the same time, the NN is trained, which is used to calculate the calculation assessments of the operability, as well as the operability of the CTS.

To limit the search space, the target error function of the NN, using the least squares method [14], is minimized

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p (y_j - d_j)^2, \quad (10)$$

where y_j – value of the j -th output of the NN;

d_j – target value of j -th output;

p – number of neurons in the output layer.

The network is trained by the gradient descent method. At each iteration the change in weight occurs according to the formula

$$\Delta w_{ij} = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad (11)$$

where η – learning speed parameter.

When developing KB of HES, critical values are set for each variable that directly affect the performance of the CTS, taking into account their individual parameters, when values of which are reached, the operation mode of the CTS becomes emergency (table 4).

For each variable, as well as for operability, the value at which the CTS goes into the emergency mode is set individually [15].

Table 4

Values of the parameters of the CTS variables

Variable	Values of the parameters	
	Non-emergency mode	Emergency mode
V_1	$[a_1...b_1]$	$> b_1$
V_2	$[a_2...b_2]$	$< a_2$
...
V_m	$[a_m...b_m]$	$(< a_m) \vee (> b_m)$
P	$[a_p...b_p]$	$< a_p$

In addition, according to the data is predicted to operability the system, by analyzing the time series of the technical state of the CTS on the basis of changing the characteristics of its variables with a specified time interval.

The interval between fixing the values is TI . During each fixation of values, the operability of the CTS is determined, as well as all previously undetected equipment failures.

For the entire life cycle of the L system, a time frame is calculated

$$L: ((0, TI)(TI, 2 \cdot TI)(2 \cdot TI, 3 \cdot TI) \dots ((T-1) \cdot TI, T \cdot TI)), \quad (12)$$

where $T = \frac{L}{TI}$.

During each t -th period $((t-1) \cdot TI, t \cdot TI)$, a certain interval of time, where $t = (1, T)$, the system's actions are described by a system of ordinary differential equations

$$\frac{dV(t)}{dt} = V(t) \cdot M \quad (13)$$

where $V(t) = (v_1(t), v_2(t) \dots v_T(t))$ – the probability vector of the system under consideration in a certain state;

M – matrix of system transitions from one state to another, containing the transition coefficients between states [16]

$$M = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & \dots & \lambda_{1T} \\ \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{T1} & \dots & \lambda_{TT} \end{pmatrix} \quad (14)$$

After that, the influence functions (IF) of the factors are formed on the probability of an emergency situation.

IF are formed on the basis of statistics and expert assessments.

When one of the possible values $x(t)$ IF of the factor X_j is obtained, the remaining values of the IF are established by the expert's evaluation in paired comparisons of the relative influences of this factor on the occurrence of basis events (BE). When knowledge of IF is formed, n_j tuples of the form [17] are created for each pair (factor X_j , BE « a^r ») in the KB

$$(r, j, x_t, f_j^r(x_t)) \quad (15)$$

where $r \in \{R\}$ – set of BE indexes;

$j \in \{J\}$ – set of factors indices that affect the BE;

n_j – the number of possible values of the factor X_j ;

x_t – one of the possible values of X_j ;

$f_j^r(x_t)$ – the value of the influence function of the factor X_j on the

BE « a^r », when $X_j = x_t$.

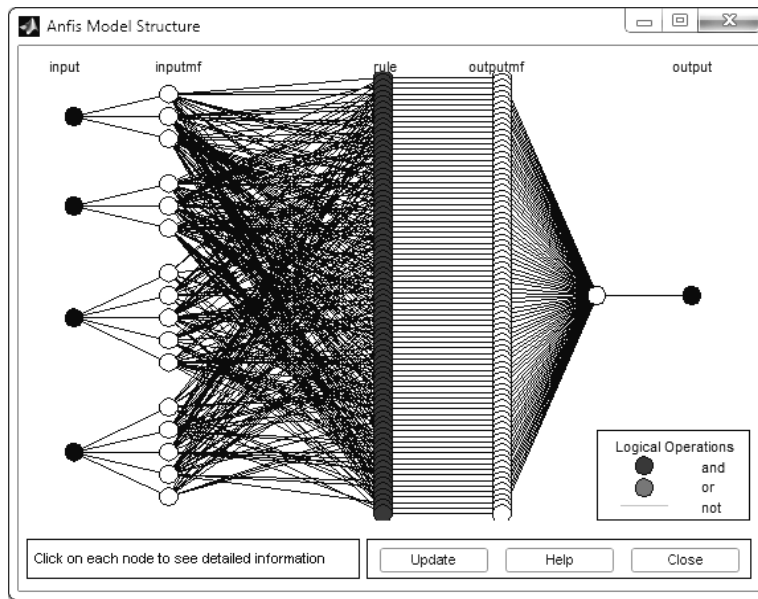
Research results. With the help of the Fuzzy Logic Toolbox, the scheme of fuzzy NN was visualized, as well as the surface of the fuzzy output of the operability of the CTS for a particular case, taking into account the values of calculated assessments p_1 and p_2 , the general linguistic variable Y and the error F (fig. 4).

From the results of visualization of the work of HES it follows that the operability is greatest at high values of the calculated assessments and the general linguistic variable, and is lowest with high error assessments. The obtained data represent a fairly reliable level of diagnostics, as well as further prediction of the CTS reliability state on the basis of these data.

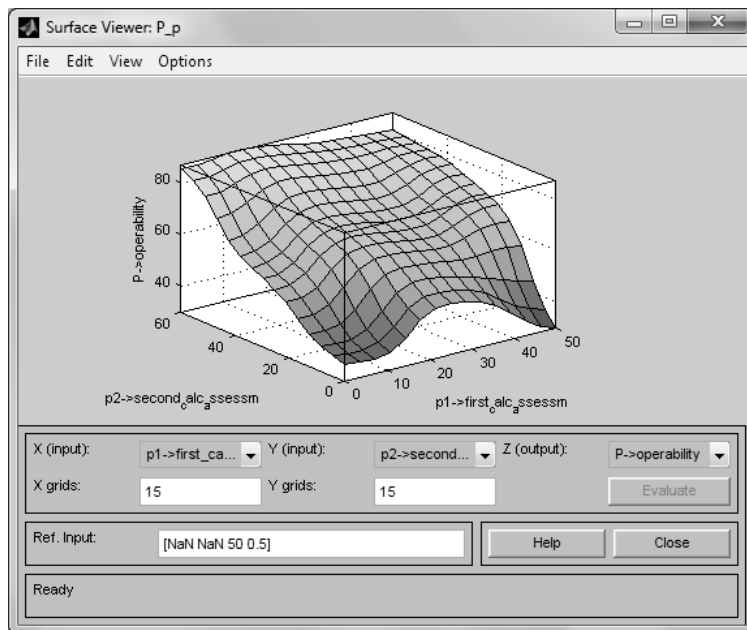
Below is a table of CTS operability values in the time series $z(t)$ as a result of diagnosing the values of the input variables with the help of the HES (table 5).

With the help of Matlab – Network / Data Manager, the CTS data is predicted on the basis of time series analysis [18].

As a result, the operability of system was calculated on the basis of the predicted data (table 6). According to the received data for the time series $z(t_1) - z(t_4)$, the average error of the network is 2,4973, which, in particular, speaks of a sufficiently high accuracy of the forecast of the technical parameters of the CTS.

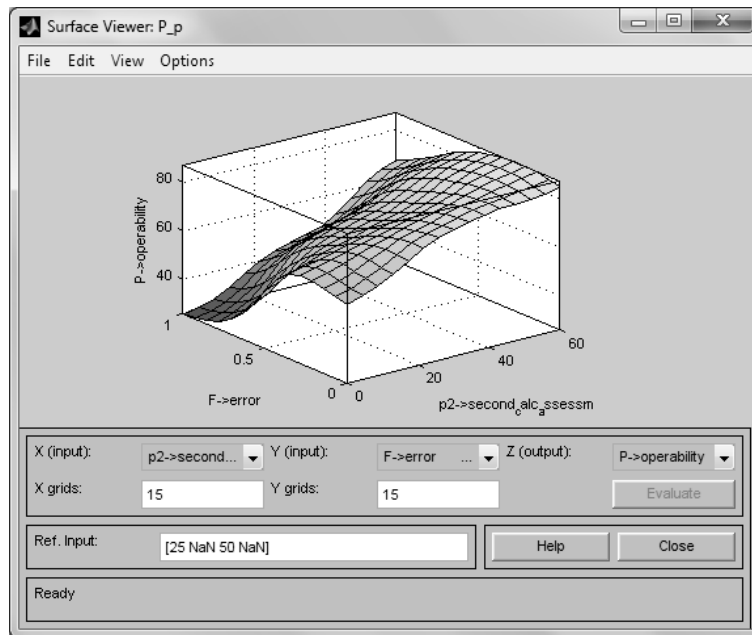


a)

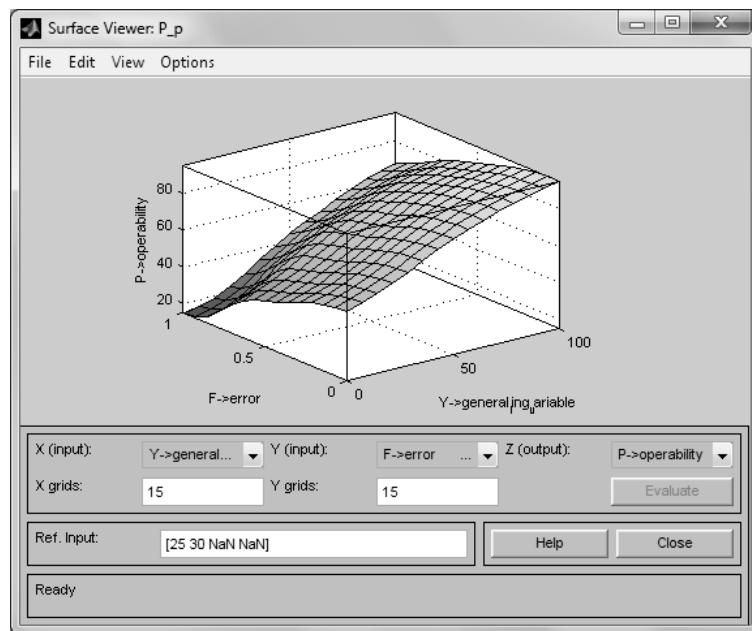


b)

Fig. 4. Visualization of the scheme of fuzzy NN (a), surface of fuzzy conclusion with calculation assessments p_1 and p_2 (b), error F and calculation assessment p_2 (c), error F and general linguistic variable Y (d)



c)



d)

Fig. 4. Continuation

Table 5

Values of the variables and operability of the CTS

Variable	Time series $z(t)$			
	$z(t_1)$	$z(t_2)$	$z(t_3)$	$z(t_4)$
p_1	30	10	20	35
p_2	60	50	40	55
Y	67.3178	50.0202	47.5608	50.0576
F	0.4636	0.4281	0.500	0.4187
P	89.6603	83.4636	72.8506	82.1741

Table 6

Forecasting results, as well as the calculated operability of the CTS

Variable	Time series $z(t)$
	$z(t_5)$
p_1	35
p_2	40
Y	67,3178
F	0,4194
P	82,3703

Conclusions. As a result of the research, a method of antifault control of the CTS was developed with the help of the HES. The developed method uses the advantages of various methods for antifault control of CTS, based on the NN and fuzzy logic.

This makes it not only universal for different types of ship's CTS, but at the same time it is also quite accurate, given that it takes into account, in addition to the CTS data, also external factors, as well as self-learning of the NN.

Data of diagnostics and prediction of technical parameters of the CTS for a particular case were also obtained. The average forecast error was 2,4973, which indicates a rather high efficiency of the developed method.

REFERENCES

1. Вычужанин В.В. Повышение эффективности эксплуатации судовой системы комфортного кондиционирования воздуха при переменных нагрузках: Монография / В.В. Вычужанин. – Одесса: ОНМУ, 2009. – 206 с.
2. Вычужанин В.В. Гибридные экспертные системы для противоаварийного управления сложными техническими объектами / В.В. Вычужанин, С.Н. Коновалов // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – 2017. – № 2 (51). – С. 165-178.
3. Рудниченко Н.Д. Оценки структурного и функционального рисков сложных технических систем / Н.Д. Рудниченко, В.В. Вычужанин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Інформаційні технології. Системи управління. – 2014. – Т.1. – № 2(67). – С. 18-22.
4. Вычужанин В.В. Метод управления рисками судовых сложных технических систем / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Проблеми техніки. – 2014. – № 2. – С. 138-142.
5. Вычужанин В.В. Технические риски сложных комплексов функционально взаимосвязанных структурных компонентов судовых энергетических установок / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – 2014. – Вып. 2(40). – С. 68-77.
6. Бойко В.Д. Модель оценки живучести судовых технических систем / В.Д. Бойко, В.В. Вычужанин // Вісник Миколаївського кораблебудівного університету. – 2012. – № 3. – С. 62-67.
7. Sahin S. Hybrid expert systems: A survey of current approaches and applications / S. Sahin, M.R. Tolun, R. Hassanpour // Expert Systems with Applications. – 2012. – № 39. – P. 4609-4617.
8. Smita S.S. Fuzzy Expert Systems (FES) for Medical Diagnosis / S.S. Smita, S. Sushil, M.S. Ali // International Journal of Computer Applications. – 2013. – P. 1-11.
9. Ручкин В.Н. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы / В.Н. Ручкин, В.А. Фулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 240 с.
10. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
11. Абрамов О.В. Управление состоянием сложных технических систем [Электронный ресурс] / О.В. Абрамов – Режим доступа к ресурсу: <http://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-sostoyaniem-slozhnyh-tehnicheskikh-sistem>.

12. Пятковский О.И. Построение модели оценки потенциала инновационного проекта и её оценки на основе гибридных экспертных систем / О.И. Пятковский, М.А. Габова // *Управление, вычислительная техника и информатика*. – С. 101-104.
13. Коновалов С.Н. Информатизация дистанционного диагностирования состояния сложных технических систем / С.Н. Коновалов, В.В. Вычужанин // *ОНПУ*. – 2016. – № 1. – С. 61-70.
14. Стариков А. Нейронные сети – математический аппарат [Электронный ресурс] / А. Стариков – Режим доступа к ресурсу: <https://basegroup.ru/community/articles/math>
15. Вычужанин В.В. Разработка гибридной экспертной системы для противоаварийного управления сложными техническими системами / В.В. Вычужанин, С.Н. Коновалов // *НГТУ*. – 2017. – С. 835-840.
16. Голыжникова Д.Ю. Управление рисками в системах трубопроводного транспорта и моделирование систем безопасности с целью оптимизации процессов / Д.Ю. Голыжникова // *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. – 2017. – № 1. – С. 28-32.
17. Серебровский А.Н. О приобретении знаний для гибридных экспертных систем поддержки принятия решений по предотвращению аварий на опасных объектах / А.Н. Серебровский, В.Г. Пилипенко // *Система підтримки прийняття рішень. Теорія і практика*. – 2009. – С. 129-132.
18. Афанасьева М.А. Создание и обучение нейронных сетей в системе Matlab / М.А. Афанасьева // *Молодой учёный*. – 2014. – № 4(63). – С. 85-88.

Стаття надійшла до редакції 01.09.2017

ON-LINE НЕО-ФАЗЗИ АВТОЕНКОДЕР ДЛЯ СИСТЕМ
З ГЛИБИННИМ НАВЧАННЯМ
НА БАЗІ НЕЙРО-ФАЗЗИ МЕРЕЖІ КОЛМОГОВОРА

ON-LINE НЕО-ФАЗЗИ АВТОЕНКОДЕР ДЛЯ СИСТЕМ
С ГЛУБИННЫМ ОБУЧЕНИЕМ
НА БАЗЕ НЕЙРО-ФАЗЗИ СЕТИ КОЛМОГОВОРА

ON-LINE NEO-PHASE AUTOENKODER FOR SYSTEMS
WITH DEEP LEARNING ON THE BASE
OF THE KOLMOGOROV'S NEURO-PHASE NETWORK

Є.В. БОДЯНСЬКИЙ¹, докт.техн.наук,
О.А. ВІНОКУРОВА^{1,2}, докт.техн.наук,
Д.Д. ПЕЛІШКО³, докт.техн.наук,
Ю.М. РАШКЕВИЧ³, докт.техн.наук,

¹Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

²Вищий навчальний заклад «Комп'ютерна академія ШАГ», Україна

³заступник міністра МОН України

Однією з основних задач інтелектуального аналізу даних є редуція-компресія великих обсягів даних високої розмірності. В статті запропоновані архітектура і алгоритм on-line навчання нео-фаззи автоенкодера, що є автоасоціативною «bottle neck» модифікацією нейро-фаззи мережі Колмогорова. Запропонований автоенкодер характеризується простотою чисельної реалізації і високою швидкістю налаштування своїх параметрів. Проведено імітаційні експерименти, що підтверджують ефективність підходу, що розвивається.

Ключові слова. *Нео-фаззи автоенкодер, нейронні мережі з глибинним навчанням, нейро-фаззи мережа Колмогорова, редуція-компресія даних, методи машинного навчання.*

Одной из основных задач интеллектуального анализа данных является редуция-компрессия больших объемов данных высокой размерности. В статье предложены архитектура и алгоритм on-line обучения нео-фаззи автоэнкодера, который является автоассоциативной «bottle neck» модификацией нейро-фаззи сети Колмогорова. Предложенный автоэнкодер характеризуется простотой численной реализации и высокой скоростью настройки своих параметров. Проведены численные эксперименты, которые подтверждают эффективность развиваемого подхода.

Ключевые слова. *Нео-фаззи автоэнкодер, нейронные сети с глубинным обучением, нейро-фаззи сеть Колмогорова, редуция-компрессия данных, методы машинного обучения.*

One of the important problem, which is connected with big high dimensional data processing, is the task of their compression without significant loss of information that is contained in this data. The systems, which solve this problem and are called autoencoders, are the inherent part of deep neural networks. The main disadvantage of well-known autoencoders is low speed of learning process, which is implemented in the batch mode. In the paper the two-layered autoencoder is proposed. This system is the modification of Kolmogorov's neuro-fuzzy system. Thus, in the paper the hybrid neo-fuzzy system encoder is proposed that has essentially advantages comparatively with conventional neurocompressors-encoders.

Keywords. *Neo-fuzzy autoencoder, deep learning neural network, Kolmogorov's neuro-fuzzy network, data reduction-compression, machine learning.*

Вступ. Однією з основних проблем Data Mining, що пов'язані з опрацюванням великих масивів спостережень високої розмірності [1; 2], є задача їх редукції-компресії без істотної втрати інформації, що міститься в масивах даних, які опрацьовуються. Для розв'язання таких задач розроблена ціла низка методів і, насамперед, метод головних компонент, аналіз головних різноманіть, дискримінантний аналіз, спеціалізовані нейронні мережі такі, як мережі Хебба-Сенгера, Оя-Карунена, «bottle neck» та інші [3; 4].

Необхідним елементом глибинних нейронних мереж [5-7], що інтенсивно розвиваються в цей час, є автоенкодер, який реалізує задачу редукції даних і формує входні шари нейромережі. В якості таких автоенкодерів найбільш часто використовується автоасоціативний багатопартий перцептрон «bottle neck» та обмежена машина Больцмана, вузлами яких є елементарні перцептрони Розенблатта з сигмоїдальними функціями активації. Ці автоенкодери забезпечують високу якість стиснення даних, однак характеризуються низькою швидкістю налаштування своїх параметрів, що реалізується на базі багатоепохового навчання.

Актуальність. У зв'язку з інтенсивним розвитком Data Stream Mining [8; 9] актуальною є задача створення швидкодіючих автоенкодерів, що дозволяють оброблювати інформацію в послідовному режимі, коли дані одне за одним надходять в систему.

Мета роботи. Мета роботи поляє у створенні та дослідженні архітектури і алгоритму on-line навчання нео-фаззі автоенкодера, що є автоасоціативною «bottle neck» модифікацією нейро-фаззі мережі Колмогорова.

Матеріали дослідження. 1. Архітектура нео-фаззі автоенкодера.

Запропонований автоенкодер має двошарову архітектуру і є за суттю автоасоціативною «bottle neck» модифікацією нейро-фаззі мережі Колмогорова (НФСК), що введена та досліджена у [10-14]. На нульовий (рецепторний) шар мережі, послідовно надходять сигнали, що мають бути стиснені

$$x(k) = (x_1(k), \dots, x_i(k), \dots, x_n(k))^T \in R^n,$$

де $k = 1, 2, \dots, N$ – номер спостереження у вибірці, що оброблюється (в випадку пакетного навчання) або такт дискретного часу при послідовному надходженні даних (в випадку on-line навчання).

Перший прихований шар мережі складається з m ($m < n$) нелінійних вузлів, що навчаються, на виходах яких з'являються значення стиснених сигналів

$$y(k) = (y_1(k), \dots, y_j(k), \dots, y_m(k))^T \in R^m.$$

Далі ці сигнали надходять на нелінійні вузли вихідного шару. На виходах цього шару з'являються відновлені сигнали

$$\hat{x}(k) = (\hat{x}_1(k), \dots, \hat{x}_i(k), \dots, \hat{x}_n(k))^T \in R^n,$$

а похибка $e_i(k) = x_i(k) - \hat{x}_i(k)$ використовується для налаштування синаптичних ваг обох шарів. Таким чином, НФСК реалізує нелінійне відображення

$$\hat{x}_i(k) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n f_{ij}^{[2]}(y_j) = \sum_{j=1}^n f_{ij}^{[2]} \left(\sum_{i=1}^n f_{ij}^{[1]}(x_i) \right), \forall i = 1, 2, \dots, n,$$

де $f_{ji}^{[1]}(\cdot)$ та $f_{ij}^{[2]}(\cdot)$ – нелінійні перетворення, що реалізуються вузлам першого прихованого та вихідного шарів відповідно.

У якості «будівельних елементів» цієї мережі використовуються нелінійні синапси – $NS_{ji}^{[1]}$, $NS_{ij}^{[2]}$ та нео-фаззі нейрони $NFN_j^{[1]}$, $NFN_i^{[2]}$, що введені у [15-17] та відрізняються високими апроксимуючими властивостями.

Архітектура нео-фаззі-автоенкодера містить n нелінійних синапсів $NS_{ji}^{[1]}$, кожен з яких має h функцій належності $\mu_{jil}^{[1]}$ та h налаштованих синаптичних ваг $w_{jil}^{[1]}$.

Всього перший прихований шар містить mnh функцій належності і таку ж кількість синаптичних ваг. Вихідний шар містить n нео-фаззі-нейронів $NFN_i^{[2]}$, кожен з яких складається з m нелінійних синапсів $NS_{ij}^{[2]}$, при цьому кожен з цих синапсів також має h функцій належності $\mu_{ijl}^{[2]}$ і h синаптичних ваг $w_{ijl}^{[2]}$. Таким чином, автоенкодер містить $2mnh$ параметрів, що налаштовуються. В результаті перетворен-

ня, що реалізується автоасоціативною НФСК, може бути представлено у вигляді

$$NS_{ji}^{[1]} : f_{ji}^{[1]}(x_i) = \sum_{l=1}^h w_{jil}^{[1]} \mu_{jil}^{[1]}(x_i), \quad (1)$$

$$NS_{ij}^{[2]} : f_{ij}^{[2]}(y_j) = \sum_{l=1}^h w_{ijl}^{[2]} \mu_{ijl}^{[2]}(y_j), \quad (2)$$

$$NFN_j^{[1]} : y_j = \sum_{i=1}^n f_{ji}^{[1]}(x_i) = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^h w_{jil}^{[1]} \mu_{jil}^{[1]}(x_i),$$

$$NFN_i^{[2]} : \hat{x}_i = \sum_{j=1}^m f_{ij}^{[2]}(y_j) = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^h w_{ijl}^{[2]} \mu_{ijl}^{[2]}(y_j),$$

$$\hat{x}_i(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^h w_{ijl}^{[2]} \mu_{ijl}^{[2]} \left(\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^h w_{jil}^{[1]} \mu_{jil}^{[1]}(x_i) \right) \quad (3)$$

Нелінійні синапси (1), (2) є за суттю системами нечіткого виведення Такагі-Сугено нульового порядку [18] і є відповідно універсальними апроксиматорами, тобто при правильному налаштуванні синаптичних ваг і виборі кількості функцій належності h , можуть з заданою точністю апроксимувати будь-яку обмежену функцію одного аргументу.

Вираз (3) описує двошарову нейро-фаззі систему з дворівневою системою нечітких правил, що реалізує багатомасштабний підхід, тобто відповідно теоремі Яма-Нгуєна-Крейновича [19] дозволяє забезпечити задану точність апроксимації довільної обмеженої багатовимірної функції.

В якості функцій належності нелінійних синапсів $NS_{ji}^{[1]}$, $NS_{ij}^{[2]}$ автори нео-фаззі нейрона [15-17] використовували стандартні трикутні функції, що задовольняють умовам одиничного розбиття Руспіні, вигляду

$$\mu_{j,i,l}^{[1]}(x_i) = \begin{cases} \frac{x_i - c_{j,i,l-1}^{[1]}}{c_{j,i,l}^{[1]} - c_{j,i,l-1}^{[1]}}, & \text{якщо } x_i \in [c_{j,i,l-1}^{[1]}, c_{j,i,l}^{[1]}], \\ \frac{c_{j,i,l-1}^{[1]} - x_i}{c_{j,i,l+1}^{[1]} - c_{j,i,l}^{[1]}}, & \text{якщо } x_i \in [c_{j,i,l-1}^{[1]}, c_{j,i,l}^{[1]}], \\ 0 & \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{j,i,l}^{[1]}(x_i) + \mu_{j,i,l+1}^{[1]}(x_i) = 1, \quad (5)$$

$$\mu_{i,j,l}^{[2]}(y_j) = \begin{cases} \frac{y_j - c_{i,j,l-1}^{[2]}}{c_{i,j,l}^{[2]} - c_{i,j,l-1}^{[2]}}, \text{ якщо } y_j \in [c_{i,j,l-1}^{[2]}, c_{i,j,l}^{[2]}], \\ \frac{c_{i,j,l+1}^{[2]} - y_j}{c_{i,j,l+1}^{[2]} - c_{i,j,l}^{[2]}}, \text{ якщо } y_j \in [c_{i,j,l}^{[2]}, c_{i,j,l+1}^{[2]}], \\ 0 \text{ — в інших випадках,} \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{i,j,l}^{[2]}(y_j) + \mu_{i,j,l+1}^{[2]}(y_j) = 1, \quad (7)$$

де $c_{j,i,l}^{[1]}$, $c_{i,j,l}^{[2]}$, $l=1,2,\dots,h$ — центри функцій належності, в найпростішому випадку рівномірно розподілені по вісям x_i та y_j .

Умови (5), (7) показують, що при надходженні на входи $NS_{ji}^{[1]}$, $NS_{ij}^{[2]}$ сигналів $x_i(k)$ $y_j(k)$ на їх виходах з'являються значення

$$\begin{cases} f_{ji}^{[1]}(x_i(k)) = w_{j,i,l}^{[1]} \mu_{j,i,l}^{[1]}(x_i(k)) + w_{j,i,l+1}^{[1]} \mu_{j,i,l+1}^{[1]}(x_i(k)), \\ f_{ij}^{[2]}(y_j(k)) = w_{i,j,l}^{[2]} \mu_{i,j,l}^{[2]}(y_j(k)) + w_{i,j,l+1}^{[2]} \mu_{i,j,l+1}^{[2]}(y_j(k)), \end{cases}$$

тобто в кожний поточний момент часу k в кожному нелінійному синапсі тільки дві сусідні функції належності можуть бути активовані.

В підсумку на кожному такті налаштовуються не $2mnh$ синаптичних ваг, а тільки $4mn$, що пришвидшує процес навчання системи в цілому.

2. Навчання нео-фаззі автоенкодера

Процес навчання нео-фаззі автоенкодера пов'язаний з визначенням синаптичних ваг обох шарів шляхом мінімізації цільової функції, яка для i -го виходу системи ($i=1,2,\dots,n$) може бути записана у вигляді

$$\begin{aligned} E_i(k) &= \sum_{k=1}^N e_i^2(k) = \sum_{k=1}^N (x_i(k) - \hat{x}_i(x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k)))^2 = \\ &= \sum_{k=1}^N \left(x_i(k) - \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^h w_{ijl}^{[2]} \mu_{ijl}^{[2]}(y_j(k)) \right)^2 = \\ &= \sum_{k=1}^N (x_i(k) - w_i^{[2]T} \mu_i^{[2]}(y(k)))^2, \end{aligned} \quad (8)$$

де $w_i^{[2]} = (w_{i1}^{[2]}, w_{i2}^{[2]}, \dots, w_{ih}^{[2]}, w_{i21}^{[2]}, \dots, w_{ijl}^{[2]}, \dots, w_{imh}^{[2]})^T$, $\mu_i^{[2]}(y(k)) =$
 $= (\mu_{i1}^{[2]}(y_1(k)), \mu_{i2}^{[2]}(y_1(k)), \dots, \mu_{ih}^{[2]}(y_1(k)), \mu_{i21}^{[2]}(y_2(k)), \dots, \mu_{ijl}^{[2]}(y_j(k)), \dots,$
 $\mu_{imh}^{[2]}(y_m(k)))^T - (mh \times 1)$ – вектори синаптичних ваг і функцій належності відповідно.

В найпростішому випадку для оцінки вектору $w_i^{[2]}$ може бути використано стандартний метод найменших квадратів у вигляді

$$w_i^{[2]}(N) = \left(\sum_{k=1}^N \mu_i^{[2]}(y(k)) \mu_i^{[2]T}(y(k)) \right)^+ \sum_{k=1}^N \mu_i^{[2]}(y(k)) x(k).$$

У випадку, коли дані надходять на обробку послідовно одне за одним, процес навчання зводиться до градієнтної мінімізації критерія (8) виду [17]

$$\begin{aligned} w_{ijl}^{[2]}(k) &= w_{ijl}^{[2]}(k-1) - \eta(k) \frac{\partial e_i^2(k)}{\partial w_{ijl}^{[2]}} = \\ &= w_{ijl}^{[2]}(k-1) + \eta(k) e_i(k) \mu_{ijl}^{[2]}(y_j(k)) \end{aligned} \quad (9)$$

де $\eta(k)$ – параметр кроку навчання.

Налаштування синаптичних ваг прихованого шару відбувається на базі зворотного поширення похибок, при цьому може бути використана процедура типу (9), яка в цьому випадку набуває вигляду

$$\begin{aligned} w_{jil}^{[1]}(k) &= w_{jil}^{[1]}(k-1) - \eta(k) \frac{\partial e_i^2(k)}{\partial w_{jil}^{[1]}} = \\ &= w_{jil}^{[1]}(k-1) - \eta(k) \frac{\partial e_i^2(k)}{\partial \hat{x}_i(k)} \cdot \frac{\partial \hat{x}_i(k)}{\partial y_j(k)} \cdot \frac{\partial y_j(k)}{\partial w_{jil}^{[1]}} = \\ &= w_{jil}^{[1]}(k-1) + \eta(k) e_i(k) \mu_{jil}^{[2]}(x_i(k)) \sum_{l=1}^h w_{ijl}^{[2]}(k) \frac{\partial \mu_{ijl}^{[2]}(y_j(k))}{\partial y_j}. \end{aligned} \quad (10)$$

Висновки. Запропоновано нео-фаззі автоенкодер, що базується на двошаровій архітектурі з нео-фаззі нейронами у якості вузлів, і простий алгоритм його навчання, що заснований на зворотному поширенні похибок та дозволяє опрацьовувати інформацію в on-line режимі по мірі надходження в систему.

Введений автоенкодер характеризується простотою чисельної реалізації і високою швидкістю налаштування своїх параметрів. Проведені експерименти як на тестових, так і на реальних даних підтверджують доцільність підходу, що розвивається.

ЛІТЕРАТУРА

1. Han J. *Data Mining: Concepts and Techniques* / J. Han, M. Kamber. – Amsterdam: Morgan Kaufman Publ. – 2006. – 743 p.
2. Aggarwal C.C. *Data Mining* / C.C. Aggarwal. – N.Y.: Springer, 2015. – 734 p.
3. Cichocki A. *Neural Networks for Optimization and Signal Processing* / A. Cichocki, R. Unbehauen. – Stuttgart: Teubner, 1993. – 526 p.
4. Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines* / S. Haykin. – Upper Saddle River. – New Jersey: Pearson, Prentice Hall, 2009. – 906 p.
5. LeCun Y. *Deep Learning* / Y. LeCun, Y. Bengio, G.E. Hinton // *Nature*. – 2015. – 521. – P. 436-444.
6. Schmidhuber J. *Deep learning in neural networks: An overview* / J. Schmidhuber // *Neural Networks*. – 2015. – 61. – P. 85-117.
7. Goodfellow I. *Deep learning* / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – MIT Press. – 2016. – 800 p.
8. Bifet A. *Adaptive Stream Mining: Pattern Learning and Mining from Evolving Data Streams* / A. Bifet. – Amsterdam: IOS Press, 2010. – 224 p.
9. Aggarwal C.C. *Data Streams: Models and Algorithms* / C.C. Aggarwal. – Kluwer Academic Publishers Boston/Dordrecht/London. – 2007. – 354 p.
10. Kolodyazhniy V. *Fuzzy Kolmogorov's Network* / V. Kolodyazhniy, Ye. Bodyanskiy // In M.G. Negoita et al., editors, *Lecture Notes in Computer Science*. – V. 3214. – Springer-Verlag. – 2004. – P. 764-771.
11. Bodyanskiy Ye. *Neuro-fuzzy Kolmogorov's network for time-series prediction and pattern classification* / Ye. Bodyanskiy, V. Kolodyazhniy, P. Otto // *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. – V. 3698. – Heidelberg: Springer-Verlag. – 2005. – P. 191-202.
12. Kolodyazhniy V. *Universal approximator employing neo-fuzzy neurons* / Ye. Bodyanskiy, V. Kolodyazhniy, P. Otto // Ed. B. Reusch «*Computational Intelligence Theory and Applications*». – Berlin-Heidelberg: Springer, 2005. – P. 631-640.

13. Kolodyazhniy V. *Neuro-fuzzy Kolmogorov's network with a modified perceptron learning rule for classification problems* / V. Kolodyazhniy, Ye. Bodyanskiy, V. Poyedyntseva, A. Stephan // Ed. B. Reuch «Advances in Soft Computing». – V. 38. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. – 2006. – P.41-49.
14. Bodyanskiy Ye. *Neuro-fuzzy Kolmogorov's network* / Ye. Bodyanskiy, Ye. Gorshkov, V. Kolodyazhniy, V. Poyedyntseva // *Lecture Notes in Computer Science*. – V.3697. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – P.1-6.
15. Yamakawa T. *A novel nonlinear synapse neuron model guaranteeing a global minimum – Wavelet neuron* / T. Yamakawa // *Proc. 28-th IEEE Int. Symp. on Multiple-Valued Logic*. –Fukuoka, Japan: IEEE Comp. Soc. – 1998. – P. 335-336.
16. Uchino E. *Soft computing based signal prediction, restoration and filtering* / E. Uchino, T. Yamakawa // *Intelligent Hybrid Systems: Fuzzy Logic, Neural Networks and Genetic Algorithms*, Da Ruan Eds. – Boston: Kluwer Academic Publisher. – 1997. – P. 331-349.
17. Yamakawa T. *A neo-fuzzy neuron and its applications to system identification and prediction of the system behavior* / T. Yamakawa, E. Uchino, T. Miki, H. Kusanagi // *Proc. 2-nd Int. Conf. on Fuzzy Logic and Neural Networks «IIZUKA-92»*. –Iizuka, Japan. – 1992. – P. 477-483.
18. Jang J.-S. R. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence* / J.-S. R. Jang, C. T. Sun, E. Mizutani. – N.J.: Prentice Hall, 1997. – 614 p.
19. Yam Y. *Multi-resolution techniques in the rules-based intelligent control systems: a universal approximation result* / Y. Yam, H.T. Nguyen, V. Kreinovich // *Proc. of the 14th IEEE International Symposium on Intelligent Control/Intelligent Systems and Semiotics (ISIC/ISAS'99)*. – Cambridge, Massachusetts, September. – 15-17. – 1999. – P. 213-218.

Стаття надійшла до редакції 22.09.2017

**СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ БЕЗТІНЬОВОГО
ІНФРАЧЕРВОНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРОЦЕДУРИ ПЕЛОЇДОТЕРАПІЇ**

**СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ БЕСТЕНЕВОГО
ИНФРАКРАСНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРОЦЕДУР ПЕЛОИДОТЕРАПИИ**

**SYSTEM FOR FORMATION OF NONSHADED INFRARED FIELD
FOR PELOIDOTHERAPY PROCEDURES**

В.И. МЕЩЕРЯКОВ, докт. техн. наук,
Д.В. МЕЩЕРЯКОВ, Е.В. ЧЕРЕПАНОВА

Одесский государственный экологический университет, Украина

Розроблена система формування безтіньового інфрачервоного поля для опромінювання пацієнтів при виконанні фізіотерапевтичних процедур пелоїдотерапії, яка дозволяє керувати енергетичною і спектральною складовою поля. Наведено результати моделювання індикатрис випромінювачів з параболічним і кутовими відбивачами. Представлені результати розробки конструкцій камер пелоїдотерапії з дзеркалами Френеля, загальним і локальними циліндричними відбивачами, статичними і пульсуючими інфрачервоними випромінювачами.

Ключові слова: *інфрачервоне поле, випромінювач, параболічний відбивач, безтіньова зона, камера пелоїдотерапії.*

Разработана система формирования бестеневого инфракрасного поля для облучения пациентов при выполнении физиотерапевтической процедуры пелоидотерапии, позволяющая управлять энергетической и спектральной составляющей поля. Приведены результаты моделирования индикатрис излучателей с параболическим и уголковым отражателями. Представлены результаты разработки конструкций камер пелоидотерапии с зеркалами Френеля, общим и локальными цилиндрическими отражателями, статическими и пульсирующими инфракрасными излучателями.

Ключевые слова: *инфракрасное поле, излучатель, параболический отражатель, бестеневая зона, камера пелоидотерапии.*

It was developed the system for performing a nonshaded infrared field for irradiating patients during a physiotherapeutic pelototherapy procedure, which makes it possible to control the energy and spectral components of the field. The results of modeling the indicatrices of radiators with parabolic and angular reflectors are presented.

© Мещеряков В.И., Мещеряков Д.В., Черепанова В.Е., 2017

The results of peloid chambers design with Fresnel mirrors, common and local cylindrical reflectors, static and pulsating infrared emitters are presented.

Keywords: *infrared field, radiator, parabolic reflector, nonshaded zone, peloidotherapy chamber.*

Введение. Инфракрасный нагрев получил широкое распространение в технологии изготовления электронных изделий при сушке компаундов и влагозащитных покрытий, нагреве технологических сред электроники, сварке и лазерной пайке микросборок, утилизации продуктов производства [1]. Существует класс задач, требующих создания равномерно распределенного пространственного инфракрасного поля, причем требования к равномерности не столь жесткие как в измерительной оптической аппаратуре [2]. К ним относятся обогрев птенцов и животных [3], лечебные терапевтические процедуры пелоидотерапии [4] и т. п.

Пелоидотерапия – эффективный метод лечения многих заболеваний, основанный на взаимодействии лечебных грязей с кожей человека. Лечебное применение включает весь спектр показаний для грязелечения: заболевания и травмы опорно-двигательного аппарата, периферической нервной системы и др., различные гинекологические и урологические заболевания, внутренние болезни и заболевания ЛОР органов, косметология. Метод составляет комплексный подход к лечению и реабилитации, регулируемого термо- и цвето- воздействия, бальнео-процедур.

Основу запатентованного метода, составляет нагрев пелоида регулируемым потоком инфракрасного излучения непосредственно на теле пациента в специальной камере [5]. Методика подобна египетскому методу, но вместо солнечных лучей использовано искусственное инфракрасное излучение.

Целью работы явилась разработка системы формирования бестеневого инфракрасного поля излучения для медицинского приложения в курортологии.

Методика решения задачи. Известно, что интегральная плотность потока излучения описывается законом Стефана-Больцмана

$$W(T) = \sigma T^4, \quad (1)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,6697 \cdot 10^{-12}$ Вт/(см²·К⁴);

T – температура в градусах Кельвина, К.

Для реальных тел добавляется безразмерный коэффициент черноты ε , который определяет отличие излучательной способности абсолютно черного тела от реального, например, для керамики он составляет 07-08.

Индикатриса излучения точечного источника излучения абсолютно черного тела подчиняется закону Ламберта, а для реальных излучателей только в ограниченных углах.

Для исследования индикатрис излучения инфракрасных излучателей проведено моделирование в пакете MATLAB. На рис. 1 и 2 представлены индикатрисы излучения точечного излучателя и излучателя конечных размеров с параболическими отражателями. Отражатели позволяют повысить энергетическую эффективность излучателей, поскольку используют и энергию тыльной стороны.

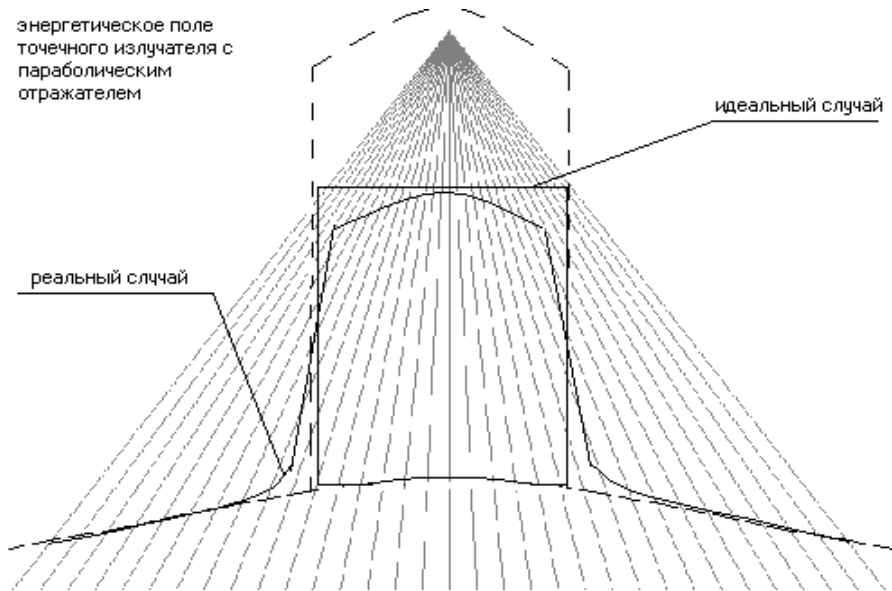


Рис. 1. Энергетическое поле точечного излучателя с параболическим отражателем

Из приведенных рисунков следует, что результирующее поле излучения реальных излучателей существенно отличается от индикатрисы идеальных точечных излучателей. Излучатели могут иметь различные спектральные составы излучения, поскольку характер взаимодействия излучения различных спектральных составов с кожей человека отличается.

Если рассмотреть систему, состоящую из нескольких инфракрасных излучателей, равноудаленных друг от друга, которые генерируют направленное посредством параболического рефлектора излучение, получим пространственно-распределенное энергетическое поле согласно выбранной конфигурации расположения излучателей. Соответствующим расположением излучающих элементов можно получить распределение энергетического поля заданной конфигурации.

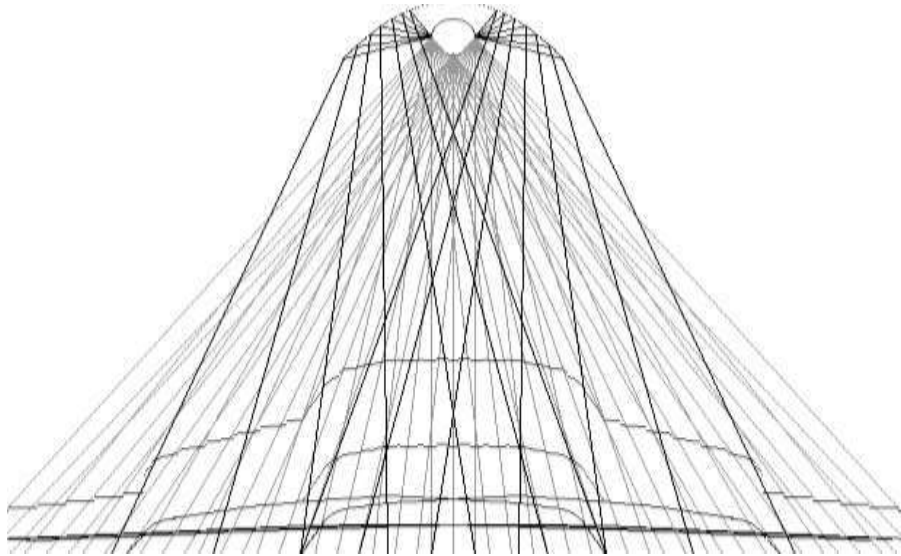


Рис. 2. Энергетическое поле излучателя конечных размеров с параболическим отражателем

Результаты моделирования индикатрисы результирующего поля для нескольких точечных и реальных излучателей показал возможности формирования инфракрасного поля различной конфигурации от фокусировки до рассеяния.

Алгоритм их управления является аддитивным и заключается в коммутации отдельных излучателей и оценке результирующего поля излучения.

При использовании излучателей различных типов можно управлять как распределением энергетического поля, так и спектральным составом поля. Тепловые поля, рассчитанные в ходе математического моделирования, были подтверждены экспериментальными данными.

Вместе с тем, подбор расположения излучателей не решает проблему создания бестеневого поля, поскольку наличие в области облучения объекта приводит к появлению теневых зон.

Проведены исследования влияния отражающей поверхности, построенной в соответствии с реальными конструктивными особенностями трубчатых излучателей, с коэффициентом отражения стенок равным 0,7 на формируемое пространственно-распределенными инфракрасными излучателями энергетическое поле. На рис. 3 приведена схема замкнутой системы, где указана конфигурация расположения излучателя и отражающей поверхности.

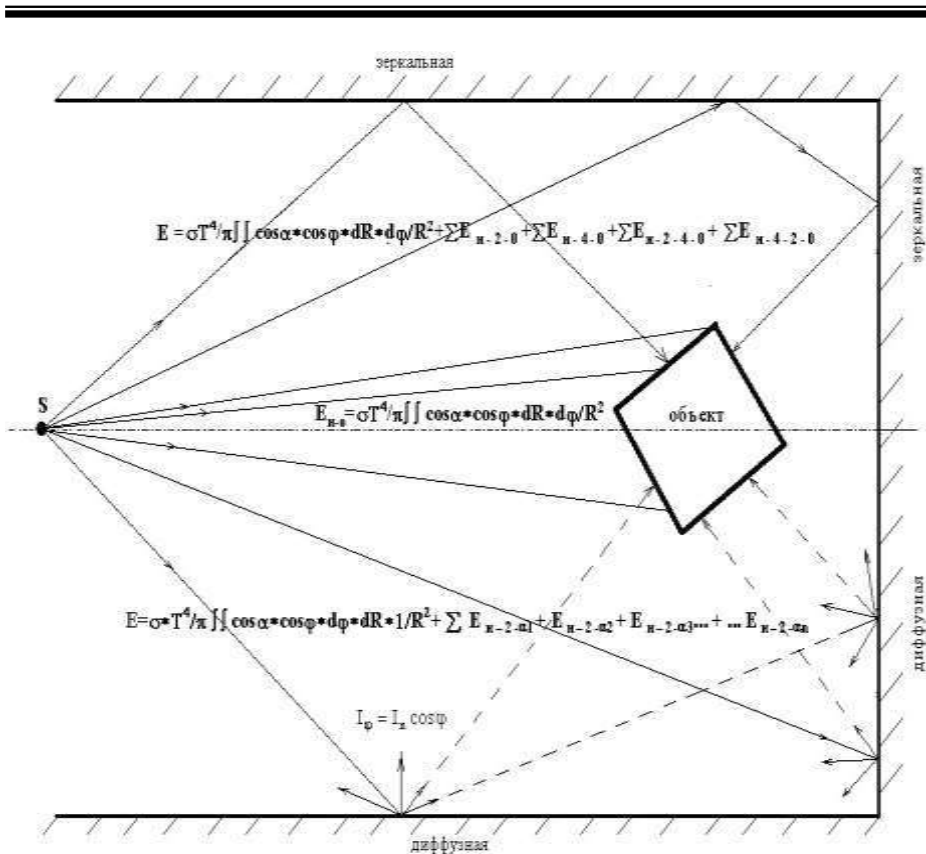


Рис. 3. Модель облучения объекта с зеркальными и диффузными отражателями

Анализ модели показал, что при использовании диффузных отражающих стенок равномерность потока существенно улучшается, однако различие в облученности прямой и тыльной сторон объекта (человека в зоне инфракрасного облучения) отличается в несколько раз, что неприемлемо для медицинского применения.

Из теории фотометрии [6] известно, что равномерное распределение потока излучения в объеме обеспечивает фотометрический шар за счет многократного отражения излучения от внутренних стенок. Если стенки шара имеют одинаковый коэффициент отражения ρ , и в шар поместить точечный источник, излучающий поток Φ , Вт/стер., то облученность внутренней поверхности $E_{обл}$, поверхности может быть определена как

$$E_{обл} = E_{ист} + E_{отр}, \quad (2)$$

где $E_{ист}$ – облученность, которую источник создает в данной точке поверхности шара только за счет излучения источника (в предположении, что поверхность шара не отражает излучение); E_{omp} – облученность, создаваемая за счет многократного отражения излучения от стенок шара.

При этом первично отраженный от стенок шара поток $\rho\Phi$ создает во всех точках однородную освещенность

$$E_{omp1} = \frac{\rho\Phi}{4\pi R^2}, \quad (3)$$

где R – радиус шара.

Проводя аналогичные вычисления для второго, третьего и последующих отражений, получаем результирующее значение дополнительной облученности

$$E_{omp} = \sum_1^{\infty} E_{ompi} = \frac{\Phi}{4\pi R^2} \frac{\rho}{1-\rho}. \quad (4)$$

Следовательно, результирующая облученность в произвольной точке идеального фотометрического шара при точечном источнике излучения будет однородной.

Совершенно очевидно, что при реальном неточечном источнике облучения, неидеальном шаре, наличии рабочих отверстий, через которые теряется часть потока и ради которых и стоит шар, однородность распределения облученности не обеспечивается.

Однако для решаемой задачи создания бестеневого поля данное ограничение не является определяющим, поскольку многократные отражения от стенок обеспечивают бестеневое, хотя и совсем однородное поле.

Более того, наличие внутри шара затеняющих объектов – людей, ради которых и создается это облучающее поле, переводит акцент разработки от однородности к не затененности и возможности управления облученностью в этом пространстве.

Конструкция камеры. Реальные производственные и медицинские помещения никогда не имеют форму шара. Возникает потребность, используя полезные свойства фотометрического шара, трансформировать форму отражающих поверхностей таким образом, чтобы способствовать формированию бестеневого инфракрасного поля.

Поскольку при приеме процедур в камере пелоидотерапии люди обычно находятся в вертикальном положении, то можно ограничиться цилиндрической оптикой, т.е. вытянуть шар в эллипс и использовать его центральную часть. Это позволяет использовать не точечные, а линейные излучатели с более высокими показателями энергетической способности.

Рассмотрим типичное помещение прямоугольной формы, в котором необходимо создать бестеневое инфракрасное поле (рис. 4). Для того, чтобы получить параллельный пучок от точечного излучателя отражатель должен иметь форму параболы с фокусом в положении излучателя (левая часть рис. 4).

Парабола описывается уравнением второго порядка

$$y = ax^2 + b^x + c$$

и его график может быть построен по трем точкам для конкретного помещения. Основным недостатком такой конструкции инфракрасной камеры является то, что значительная часть помещения (верхняя левая часть рисунка за параболой) не может быть использована по прямому производственному назначению.

Кривую отражателя можно аппроксимировать полиномом первого порядка (набором отрезков), выбрав размер элемента соответственно требуемой точности.

Тогда часть параболы левой части рис. 4 будет представлять собой отрезки прямых, угол наклона элемента которых определяется законами отражения геометрической оптики. Очевидно, что нормальность отраженного луча относительно стены, на которой расположен излучатель, будет выполняться только для центра отрезка.

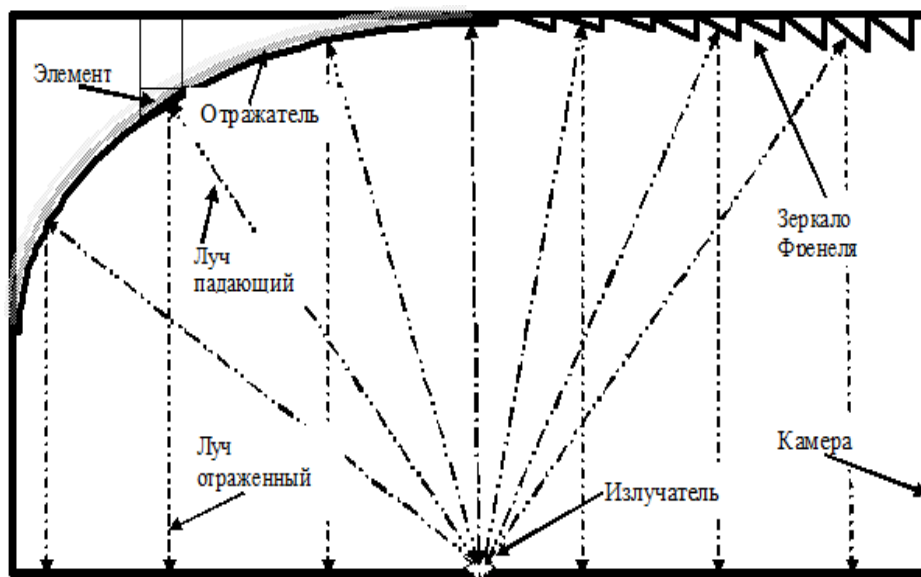


Рис. 4. Формирование планарного отражателя в помещении прямоугольной формы

Если мысленно сдвинуть элемент отражателя к стене за параболическим отражателем, то получим набор уголкового отражателей, которые можно считать планарным аналогом параболического отражателя, как это показано в правой верхней части рис. 4.

Каждый уголкового отражатель будет иметь свой угол наклона, рассчитать, который при известных размерах элементов не представляет труда.

Более того, при изготовлении конструкции инфракрасной камеры вместо излучателя можно установить полупроводниковый лазер с возможностью поворота.

Направив пучок излучения в середину уголкового отражателя с известными координатами, можно по метке на противоположной стороне стены точно подстроить угол конкретного уголкового отражателя, что существенно упрощает юстировку полученного зеркала Френеля.

Достоинством такого подхода является то, что существенно экономится полезная площадь помещения, а алгоритм построения зеркала практически не зависит от формы помещения.

Расположив подобным образом зеркала Френеля на оставшихся стенах помещения (при необходимости) получим систему формирования параллельных пучков для всех четырех стен.

Добавив источники излучения, расположенный не в фокусе параболы, сдвинутый относительно основного влево или вправо по стене, получим отраженные потоки от зеркала, снижающие проблему затенения.

На рис. 5 представлена фотография камеры пелоидотерапии, в которой одна из стен выполнена в виде зеркала Френеля, а оставшаяся часть в виде цилиндрического зеркала.

Инфракрасные излучатели на основе трубчатых элементов формируют рабочую зону проведения процедуры для 5-6 пациентов, в которой генерируется бестеневое инфракрасное поле.

На полу выделены зоны, предназначенные для разделения показанной тепловой нагрузки пациентов.

На фотографии видно, что верхняя и нижняя части левой стороны помещения не задействованы.

На рис. 6 представлена камера пелоидотерапии, выполненная в прямоугольном помещении, которой практически отсутствуют потери полезной площади.

Торцевой отражатель изготовлен в виде зеркала Френеля, боковые стены в виде цилиндрических зеркал и рассеивающих матовых поверхностей. Используются три вида излучателей: длинноволновые керамические, коротковолновые ламповые непрерывного и пульсирующего излучения, имеющие независимое управление, что позволяет управлять как излучаемой энергией, так и спектральным составом поля.



*Рис. 5. Камера пелоидотерапии
с угловыми и цилиндрическим отражателями*



*Рис. 6. Камера пелоидотерапии
с излучателями и отражателями смешанного типа*

Процедуры можно принимать как в стоячем положении, передвигаясь по назначению врача, сидя для пациентов с ограниченной подвижностью или при лечении позвоночника и суставов, так и лежа на кушетке. На стене расположена доска Евмилова для выполнения соответствующих процедур. В помещении камеры может одновременно принимать лечение до 6 человек.

Блок управления обеспечивает независимое управление группами керамических, ламповых излучателей в зависимости от медицинских предписаний для группы или отдельных пациентов.

Ламповые излучатели обеспечивают формирование коротковолнового излучения непрерывного и пульсирующего типов.

Выводы. На основании проведенного анализа и моделирования предложен подход к конструированию камер пелоидотерапии, заключающийся в формировании бестеневого инфракрасного поля за счет использования зеркал Френеля.

Данное решение позволило не только обеспечить возможность использования помещений произвольной формы, но существенно экономить полезную площадь.

К достоинству конструкции следует также отнести то, что юстировка системы не требует сложной технологии.

Камеры прошли апробирование при реализации методики Инфрпелоидотерапии, которая одобрена Ученым советом Украинского НИИ медицинской реабилитации и курортологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланин В.Л. *Инфракрасный нагрев в технологии пайки изделий электроники* / В.Л. Ланин // *Электронная обработка материалов*. – № 5. – 2007. – С 91-96.
2. Романова Т.А. *Фотометрический шар: Современное применение старого изобретения* / Т.А. Романова // *Изобретательство*. – Т.16. – № 4. – 2016. – С. 29-40.
3. Быстрицкий Д.Н. *Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве* / Д.Н. Быстрицкий, Н.Ф. Кожевникова, А.К. Лямцов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 145 с.
4. *Лечебные грязи (пелоиды) Украины. Ч. 2* / Под общ. ред. М.В. Лободы, К.Д. Бабова, Т.А. Золоторевой, Е.М. Никителовой. – К.: КИМ, 2007. – 336 с.
5. *Деклараційний патент № 58051А (Україна). Спосіб пелюїдо-терапії та камера для його здійснення* / Є.О. Косовєров, М.М. Тицук, В.І. Мецєряков, Т.О. Веселкова.
6. Гуревич М.М. *Фотометрия (теория, методы и приборы)* / М.М. Гуревич. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.

Стаття надійшла до редакції 08.09.2017

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ
СИНЕРГЕТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**INTELLIGENT TECHNOLOGY
OF SYNERGETIC MANAGEMENT**

Т.Л. МАЗУРОК, докт.техн.наук

*Південноукраїнський національний педагогічний університет
ім. К.Д. Ушинського, Україна*

У статті наведено результати дослідження синтезу інтелектуальної технології синергетичного управління організаційно-технічною системою на прикладі автоматизованої системи управління навчанням. Наведено результати практичної реалізації.

Ключові слова: синергетичне управління організаційно-технічною системою, інтелектуальний перетворювач, інтелектуальна технологія, нейромережева реалізація синергетичної моделі управління.

В статье приведены результаты исследования синтеза интеллектуальной технологии синергетического управления организационно-технической системой на примере автоматизированной системы управления обучением. Приведены результаты практической реализации.

Ключевые слова: синергетическое управление организационно-технической системой, интеллектуальный преобразователь, интеллектуальная технология, нейросетевая реализация синергетической модели управления.

The article presents the results of research into the synthesis of intellectual technology of synergetic control of the organizational and technical system using the example of an automatization learning control system. The results of practical implementation are given. A peculiarity of the synergetic approach is the consideration of the internal self-development of the system in developing

Keywords: control of organization and technical system, intellectual converter, intellectual technology, neural networks realization of synergetic control model.

© Мазурок Т.Л., 2017

Вступ. Сучасні складні системи різноманітної природи складаються з комплексу різних підсистем, що виконують певні функції та пов'язані між собою процесами динамічної взаємодії та обміном інформацією. Такі системи є багатомірними, нелінійними та багатозв'язними.

Кібернетичний підхід до автоматизації управління такими системами передбачає жорстке централізоване управління, що не дозволяє врахувати внутрішній саморозвиток системи.

В управлінні сучасними організаційно-технічними системами (ОТС), до складу яких входять організаційні підсистеми різної конфігурації, необхідною умовою підвищення ефективності є врахування їх внутрішнього саморозвитку при виробленні управляючого впливу.

Тому для управління ОТС найбільш доцільним є застосування синергетичного підходу в якості основи розвитку синергетичної теорії управління, яка є втіленням принципів самоорганізації до проблем управління [1].

Аналіз основних досягнень і літератури. Синергетичний підхід до управління – це розвиток системного підходу, який надає нові можливості для дослідження управлінської діяльності. Врахування синергетичних закономірностей суттєво змінює традиційні представлення щодо управління [2].

В традиційних системах ефект управляючої дії однозначно та лінійно залежить від величини докладених зусиль.

Але в складноорганізованих системах, до яких належить і система навчання, неможна ззовні нав'язувати шляхи розвитку.

Необхідно визначити, за допомогою чого і як можна сприяти їх власній тенденції розвитку.

Об'єктивні закони єдності самоорганізації та управління становлять основу розвитку сучасної теорії управління.

Різні аспекти становлення синергетичної теорії управління розглянуто в працях Лєтова О.М., Красовського О.А., Колеснікова А.А., Курдюмова С.П. та їх численних учнів.

Втім, особливості розширення фазового простору станів і відповідної відкритості ОТС за рахунок переважно інформаційного впливу на систему, визначає актуальну та невирішену проблему вдосконалення моделей та методів реалізації синергетичного підходу до автоматизації управління ОТС.

В межах цієї проблеми актуальним є розробка моделей та методів реалізації врахування процесу саморозвитку соціальної складової об'єкту управління.

Синергетична теорія управління дозволяє по новому поставити, а потім ефективно вирішити багато важких проблем управління, які неможливо було розв'язати існуючими методами теорії управління, або які зовсім не ставились завдяки їх особливій складності.

Якщо проаналізувати існуючі засоби реалізації синергетичного управління, то до найбільш відомих відносяться: fuzzy-регулятори, багаточарові нейронні мережі, еволюційні методи, гібридні. Згідно з висновками, ефект синергетики настає при сумісному використанні нечітких методів, нейромережових та еволюційних.

Метою дослідження є формування основних етапів інтелектуальної технології, що реалізує синергетичну модель управління ОТС.

Модель синергетичного управління ОТС. ОТС є нелінійною, дисипативною, динамічною системою. Прикладні аспекти застосування синергетичного підходу для її управління визначаються особливостями предметної галузі, в якій функціонує така система. Узагальнення досвіду застосування синергетичної моделі управління індивідуалізованим навчанням [3] дозволяє визначити основні елементи моделі синергетичного управління ОТС M

$$M = \langle \{I\}, \{C\}, \{U\} \rangle \quad (1)$$

де $\{I\}$ – вектор параметрів, що визначають початковий стан об'єкту управління (ОУ);

$\{C\}$ – множина векторів параметрів, що визначають поточні стани ОУ в моменти часу i : $C = \{C_i\}$;

$\{U\}$ – множина векторів параметрів, що визначають управляючі впливи.

Конкретизація опису елементів моделі (1) визначається відповідною предметною галуззю, але для ОТС в цілому характерним є розбиття множини параметрів стану ОУ на дві групи: параметри, що характеризують технічну складову ОТС: $\{I_T\}$, $\{C_T\}$, та параметри, що характеризують організаційну, тобто соціальну складову ОТС: $\{I_O\}$, $\{C_O\}$. Отже, в загальному випадку

$$\{I\} = \{I_T\} \cup \{I_O\}, \quad \{C\} = \{C_T\} \cup \{C_O\} \quad (2)$$

Відповідно до цього розбиття параметрів стану ОУ алгоритм функціонування, на основі якого визначається управляючий вплив кожного циклу управління ОТС, як цілісною системою, можна визначити композицією наступного виду:

$$\varphi = \varphi_1 \circ \varphi_2, \quad (3)$$

де $\varphi = U(I, C)$ – алгоритм функціонування ОТС;

φ_1 – алгоритм функціонування технічної складової;

φ_2 – алгоритм функціонування організаційної складової ОУ.

Визначення φ_1 базується, як правило, на аналітичних закономірностях та залежностях відповідної технічної складової. Втім визначення φ_2 пов'язано із труднощами, що обумовлені слабкою формалізованістю, неповнотою та невизначеністю.

Тому логічним є припущення щодо доцільності «наближення» саме φ_1 до φ_2 на основі структурно-параметричної адаптації системи автоматизованого управління ОТС.

Згідно до основних положень синергетичного підходу до управління, узгодженість між φ_1 та φ_2 із подальшим визначенням характеру залежності $\varphi(\varphi_1, \varphi_2)$ призводить до зменшення ступенів свободи, тобто звуження фазового простору станів ОТС.

Внаслідок цього утворюються атрактори, до яких притягуються траєкторії системи.

За кожний цикл управління здійснюється автоматизоване переконфігурування елементів системи управління.

На рис. 1 представлено модифікацію схеми управління [3], особливістю якої є доповнення та розвинення кібернетичного підходу синергетичним на основі розділення ОУ, тобто поширення фазового простору, переконфігурування автоматизованої системи управління (АСУ) з метою налагодження $\varphi(\varphi_1, \varphi_2)$ з врахуванням саморозвитку φ_2 .

Декомпозиція узагальненої схеми синергетичного управління ОТС дозволяє виявити основні процедури, функціонування яких забезпечує вироблення управляючого впливу, що забезпечує φ_2 .

До таких процедур відносяться: ідентифікація вектору характеристик початкового стану; супровід процесу управління з боку експертної системи; формування графу переходів станів процесу; процедури прогнозу параметрів вектору стану та планування послідовності; оперативне планування; контроль; виклик підсистеми управління; передача параметрів між блоками системи та в надсистему управління.

Однак, при визначенні параметрів організаційної складової існує декілька проблем:

а) процес визначення суттєвих параметрів, що підлягають обов'язковому врахуванню, не є завершеним. Перелік, методи оцінювання параметрів моделі постійно змінюється в наслідок різного типу обставин;

б) переважна більшість параметрів є неметризованими, тобто не існує однозначних процедур вимірювання. Тому якісні показники домінують над кількісними;

в) основним засобом отримання значень параметрів є суб'єктивне оцінювання. Зазвичай більшість параметрів не підлягає жодній формі вербалізації, тобто залишається у неформалізованому вигляді. Отже, більшість засобів оцінювання параметрів процесу, що управляється, базується на експертному оцінюванні;

г) експертне оцінювання параметрів характеризується невизначеністю, неточністю, нечіткістю, неоднозначністю та неповнотою;

д) в системах управління навчанням у зв'язку із спробами кількісної оцінки якісних показників, які застосовуються в логічному розсуді, виникає лінгвістична невизначеність, або нечіткість

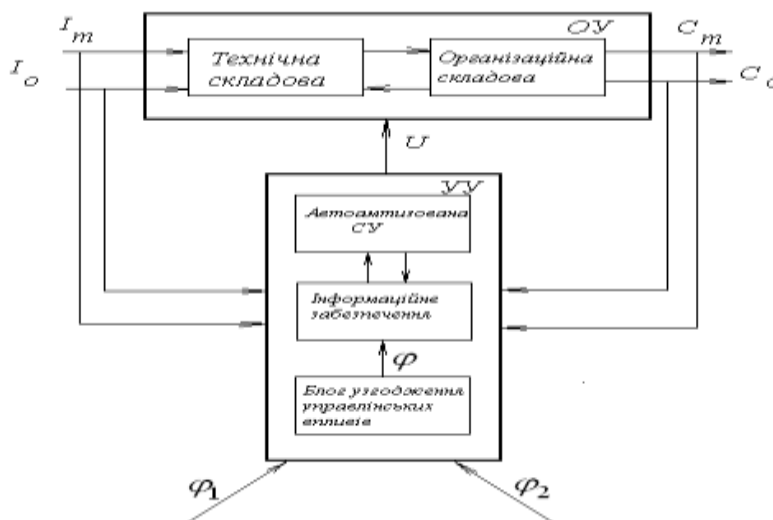


Рис. 1. Схема синергетичного управління ОТС

Однак, незважаючи на ці проблеми, які мають бути врахованими при реалізації системи управління та її інформаційного забезпечення за допомогою використання нечітких множин та нечіткого логічного виведення, розглянемо структурно-функціональні схеми у формалізованому описі (рис. 2).

Основою для формалізації є перетворення, в якому визначено вхід (V), вихід (W), перетворювач (П), ресурси (R) і засоби (S).

Під *перетворювачем* розуміємо методику, формалізований або комп'ютерний алгоритм перетворення вхідних параметрів на вихідні [4]. В якості засобів розглянемо відповідний інструментарій автоматизації визначених перетворень.

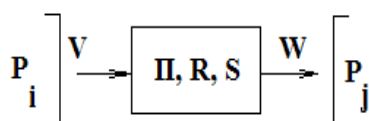


Рис. 2. Графічна інтерпретація опису схем управління

Дослідження інтелектуальних перетворень здійснювалось на прикладі сучасної педагогічної системи, що відноситься до ОТС.

Інтелектуальні перетворення. Усі параметри, що входять до опису схеми управління ОТС, можна згрупувати наступним чином:

- а) параметри, що є детермінованими;
- б) параметри, що мають ймовірнісний характер;
- в) параметри, що є погано визначеними.

Отже, на основі декомпозиції схеми управління, для автоматизованої системи управління навчанням навчальному елементові (НЕ) множину вхідних параметрів V_{HE} утворює вектор з трьох множин:

$$V_{HE} = \{P_1, P_2, P_3\}, \quad (4)$$

де P_1 – ідентифікатор (наприклад, назва) навчального елементу;

P_2 – вектор інтелекту, який відображає продуктивність навчання за допомогою двох коефіцієнтів: f – коефіцієнту забування; c – коефіцієнту умовиводу;

P_3 – діагностично заданий вектор цілі навчання

$$C_{n,l} = \{U, A, V, K_3, K_n\}.$$

Множину вихідних параметрів W утворює наступний вектор:

$$W_{HE} = \{P_4, P_5, P_6\}, \quad (5)$$

де P_4 – вектор стану, який визначає результативність навчання за допомогою двох коефіцієнтів: x – відносний об'єм накопичених знань (відносна кількість вершин у блоці пам'яті A); y – відносний об'єм сформованих вмій (відносна кількість дуг у блоці умовиводу B);

P_5 – характеристика відхилення за часом T^* ;

P_6 – характеристика відхилення за досяжністю цілі C^* .

Проаналізуємо ступінь визначеності наведених параметрів та алгоритмів їх перетворення. Усі параметри, що входять до опису схеми управління навчанням НЕ, можна згрупувати наступним чином:

а) параметри, що є детермінованими: вектор цілі навчання, вектор його фактичних досягнень, вектор відхилень мети та часу навчання – C^*, T^* ;

б) параметри, що мають ймовірнісний характер: параметри вектору інтелекту (f, c) та вектору стану (x, y);

в) погано визначеними є параметри вектору управління (h, u), інформація щодо корегування процесу учіння.

У відповідності до цього розподілу алгоритми перетворення можна класифікувати за ступенем визначеності: до повністю детермінованих алгоритмів належать алгоритми обчислення параметрів вектору цілі навчання, їх фактичних значень та відхилень, а також алгоритми обчислення відповідних часових характеристик навчання.

Визначення параметрів вектору інтелекту пов'язано із застосуванням експертних оцінок, а також вилученням інформації на основі статистичних даних спостережень за результативністю навчання.

Отже ці алгоритми відносяться до алгоритмів із високим ступенем невизначеності, потребують застосування інтелектуальних засобів для реалізації відповідних перетворень. За класифікацією задач управління зазначені перетворення стосуються ідентифікації та прогнозування.

До цієї ж групи алгоритмів відносяться перетворення із визначення параметрів управління.

Перетворення V в W характеризується в загальному випадку високим ступенем невизначеності параметрів вектору інтелекту та вектору станів, прогнозованих значень часу та досяжності цілі навчання.

Алгоритм перетворень теж не є детермінованим, бо його здійснення визначається не тільки станом вектору інтелекту, а й особливостями здійснення самого процесу навчання, послідовності операцій учіння.

Тому здійснення таких перетворень доцільно реалізувати на основі синтезу аналітичного визначення параметрів із процедурою логічного виведення.

Визначення параметрів вектору управління в умовах наявності історії навчання найбільш доцільно реалізувати засобами навченої нейронної мережі.

Групування параметрів за ступенем невизначеності є наступним:

а) детерміновані параметри: вектор цілі навчання, вектор його фактичних досягнень, вектор відхилень мети та часу навчання – C^*, T^* ;

б) параметри, що мають ймовірнісний характер: параметри вектору інтелекту (f, c) та вектору стану (x, y) ;

в) погано визначеними є параметри вектору управління (h, U) , опис графу навчання, інформація щодо індивідуального вибору послідовності вивчення НЕ.

Тоді до перетворень за детермінованими алгоритмами можна віднести обчислення параметрів вектору цілі навчання, їх фактичних значень та відхилень, а також алгоритми обчислення відповідних часових характеристик навчання.

Визначення параметрів вектору інтелекту, опису графу навчання та формування послідовності НЕ є недетермінованими.

Отже ці алгоритми відносяться до алгоритмів із високим ступенем невизначеності, потребують застосування інтелектуальних засобів для реалізації відповідних перетворень.

За класифікацією задач управління зазначені перетворення стосуються ідентифікації, прогнозування та планування.

До цієї ж групи алгоритмів відносяться перетворення із визначення параметрів управління та підтримки оперативного управління.

Для АСУ формування системи компетенцій СКМП, що є вищою над АСУ КМП множину вхідних параметрів $V_{СКМП}$ утворює вектор з трьох множин

$$V_{СКМП} = \{P_{20}, P_{21}, P_{22}, P_{23}\}, \quad (6)$$

де P_{20} – ідентифікатор набору (системи) компетенцій;

P_{21} – вектор інтелекту;

P_{22} – діагностично заданий вектор цілі навчання;

P_{23} – заданий час формування СКМП.

Множину вихідних параметрів $W_{СКМП}$ утворює вектор

$$W_{СКМП} = \{P_{24}, P_{25}, P_{26}\}, \quad (7)$$

де P_{24} – вектор стану;

P_{25} – характеристика відхилення за часом T^* ;

P_{26} – характеристика відхилення за досяжністю цілі C^* .

Групування параметрів за ступенем невизначеності є наступним:

а) детерміновані параметри: вектор цілі навчання, вектор його фактичних досягнень, вектор відхилень мети та часу навчання – C^*, T^* ;

б) параметри, що мають ймовірнісний характер: параметри вектору інтелекту (f, c) та вектору стану (x, y) ;

в) погано визначеними є параметри вектору управління (h, U) , послідовність НЕ з урахуванням системи міжпредметних взаємозв'язків.

Отже, до перетворень за детермінованими алгоритмами можна віднести обчислення параметрів вектору цілі навчання, їх фактичних значень та відхилень, а також алгоритми обчислення відповідних часових характеристик навчання.

Визначення параметрів вектору інтелекту, ступеня інтеграції між НД, взаємодія між моделлю компетенцій та моделлю міжпредметних зв'язків, формування послідовності НЕ з урахуванням впливу інтеграції на формування системи компетенції не є детермінованими.

Отже ці алгоритми відносяться до алгоритмів із високим ступенем невизначеності, потребують застосування інтелектуальних засобів для реалізації відповідних перетворень.

За класифікацією задач управління зазначені перетворення стосуються ідентифікації, прогнозування, кластеризації та планування.

До цієї ж групи алгоритмів відносяться перетворення із визначення параметрів управління та підтримки оперативного управління, яке здійснює перемикання між процесами формування відповідних КМП.

Також потребує розкриття невизначеності процес формування моделі системи компетенцій на основі кваліфікаційних вимог, мають лінгвістичний опис.

Схема також містить неформалізовану процедуру проектування дидактичної системи, що також може бути здійсненим з використанням сучасних засобів інтелектуальних перетворень.

Узагальнення опису основних параметричних перетворень в автоматизованій системі управління навчанням АСУ-Н дозволяє класифікувати їх за типом функції управління та засобами реалізації відповідних перетворень.

Таким чином, декомпозиція схеми управління навчанням та подальший аналіз ступеня невизначеності параметрів та їх основних перетворень, дозволили визначити основні типи функції управління, відповідні засоби реалізації.

Нейромережева реалізація інтелектуальної технології синергетичного управління. На основі визначення інтелектуальних перетворень, що є необхідними для реалізації схеми синергетичного управління, та аналізу доцільності застосування відповідних інтелектуальних засобів, обрано гібридний метод, що поєднує нейронні мережі з нечітким логічним виведенням та еволюційний метод оптимізації прийнятого рішення.

Декомпозиція структурно-функціональної схеми АСУ-Н обумовила особливості її реалізації на основі синтезу перетворювачів інформації щодо основних параметрів управління.

Наскрізним для усього процесу навчання є реалізація синергетичної моделі управління. Тому розглянемо особливості її реалізації.

Так як теорія синергетичного управління є сучасною концепцією синтезу та аналізу систем управління багатомірними нелінійними об'єктами у динамічних системах, а одним з універсальних засобів формування управляючих впливів є нейронні мережі, то перспективним є об'єднання концепцій синергетичного та нейромережевого управління в динамічних системах [5].

Основною метою нейромережевої реалізації є відтворення на виході навченої нейронної мережі параметру управління. Апроксимацію нелінійних безперервних функцій можна виконати за допомогою двохшарової нейромережі.

На основі співвідношень [2] можна визначити, що управління навчанням у вигляді оптимального співвідношення між знаннями та вміннями для кожного учня визначається п'ятьма параметрами: f, c, x, y, λ . Тому в якості елементів вхідного шару розглянемо ці п'ять змінних. Структуру тришарової нейронної мережі наведено на рис. 3.

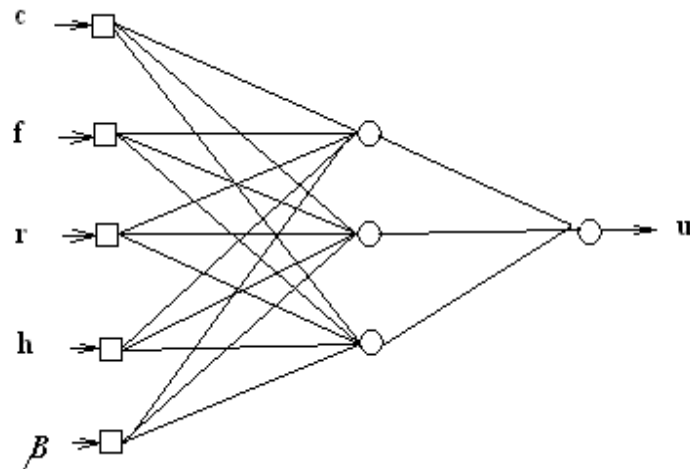


Рис. 3. Структура нейромережі синергетичного управління навчанням

При визначенні кількості нейронів проміжного шару було використано евристичне правило, на основі якого ця кількість становить половину сумарної кількості входів та виходів.

Функцією активації обрано гіперболічну тангенціальну.

В якості функції навчання обрано функцію, що реалізує метод зворотного розповсюдження (алгоритм Левенберга-Марквардта), яка забезпечує максимальну швидкодію.

Одним з простих та доступних програмних продуктів, які реалізують нейромережеву архітектуру, є пакет Neural Networks Toolbox математичної системи Matlab, до складу якого входить спеціальна функція NEWFF для створення багатошарових нейронних мереж прямої передачі з заданими функціями навчання й налагодження, які використовують метод зворотного розповсюдження помилки.

Розглянемо на прикладі використання даної функції для реалізації нейромережевого управління синергетичною моделлю навчання.

Для зменшення розмірності в наведеному прикладі обмежимо розгляд двома векторами параметрів моделей осіб, що навчаються.

До входніх аргументів функції newff відносяться: масив входу P , строки якого являють собою різні варіанти значень параметрів моделі учня f , c , x , y , λ , які отримано на основі опитування експертів; вектор цілей T ; інформація щодо структури шарів мережі; мінімальні й максимальні значення для R векторів входу.

Функції активації першого та другого шарів – сигмоїдальна нелінійна функція гіперболічного тангенсу $tansig$, третього шару – лінійна

тотожна purelin. Тоді формування багатошарової нейронної мережі має вигляд:

```
net = newff ([0 1; 0 1; 0 1; 20 80; 0 100], [5 3 1], {'tan-  
sig','tansig','purelin'}, 'trainlm');  
gensim(net);  
Навчання мережі здійснювалось на протязі 50 циклів.  
net.trainParam.epochs = 50;  
net = train(net,P,T);  
Характеристику точності навчання показано на рис. 4, ustalena  
середньоквадратична похибка складає приблизно  $7,7 \cdot 10^{-33}$ .
```

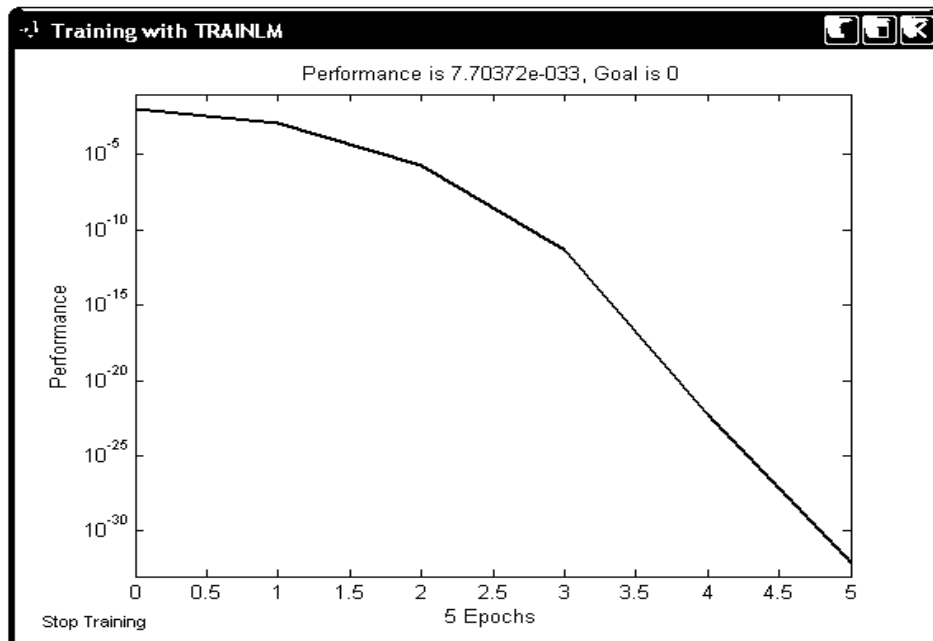


Рис. 4. Графік навчання нейронної мережі

Виконаємо моделювання сформованої трьохшарової мережі із використанням навчаючої послідовності входу:

```
Y = sim(net,P);  
plot(T,Y);
```

Результати комп'ютерного моделювання навчання свідчать про добре відображення вхідної послідовності у вихідну.

Висновки. Таким чином, виконано формування й навчання нейронної мережі, на основі якої можна отримувати значення частки часу, що доцільно відвести накопиченню знань.

Це відповідає визначенню співвідношення між формуванням знань та вмій для кожного конкретного учня.

Особливістю запропонованої схеми є використання синергетичного підходу, що базується на урахуванні внутрішнього розвитку об'єкту (вектору інтелекту учня) при виборі навчаючих впливів.

Інтелектуальна технологія синергетичного управління ОТС складається з наступних етапів: моделювання внутрішніх процесів саморозвитку процесу, що управляється; формування структурно-функціональної схеми системи управління, її декомпозиція; визначення для кожного ступеня декомпозиції інтелектуальних перетворень, добір відповідних інтелектуальних засобів, їх реалізація.

Відмінність технології створення системи управління ОТС від наведеного прикладу для АСУ-Н визначається особливостями опису саморозвитку організаційної складової конкретної ОТС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза / А.А. Колесников. – М.: УРСС, 2006. – 240 с.
2. Современная прикладная теория управления: оптимальный подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 400 с.
3. Мазурок Т.Л. Синергетическая модель индивидуализированного управления обучением / Т.Л. Мазурок // Математические машины и системы. – 2010. – № 3. – С. 124-134.
4. Проектування інформаційних систем: Посібник / За ред. В.С. Пономаренка. – К.: Видавничий центр «Академія», 2002. – 488 с.
5. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления / В.А. Терехов. – М.: ВШ, 2002. – 183 с.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2017

**АНАЛІЗ ВЕЛИКОГО ОБСЯГУ ДАНИХ
ПРО СТАН ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
АНАЛИЗ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ
ВИСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ANALYSIS OF A LARGE VOLUME OF DATA
ON THE STATE OF HIGH-TECH EQUIPMENT**

Д.С. ШИБАЕВ, В.В. ВЫЧУЖАНИН, докт. техн. наук,
Н.О. ШИБАЕВА, канд. техн. наук

Одесский национальный морской университет, Украина

Ідеологічною основою дослідження є аналіз даних, що отримуються в результаті роботи великої кількості високотехнічного обладнання. Дані розподіляються по базах даних, в залежності від різних характеристик. Складність подальшої обробки, залежить від обсягу інформації, яку необхідно проаналізувати, а також архітектурного типу зберігання даних.

Використання технології data mining дозволяє істотно поліпшити показники аналізу інформації з наступною системою короткострокового пошуку за значенням. Використання такої технології дозволить підвищити ефективність роботи архівів судових показників за весь час експлуатації судна. Сама технологія аналізу даних не досконала і потребує постійної модифікації, для збільшення власної ефективності.

Додавання сучасної архітектури перебору даних у базах, дозволить збільшити ефективність аналізу даних, що складаються з великої кількості показників стану судна та його обладнання. Однією з таких архітектур – є Map Reduce.

Ключові слова: аналіз даних, судові показники, бази даних, пошукові алгоритми, великі дані.

Идеологической основой исследования является анализ данных, получаемых в результате работы большого количества высокотехнического оборудования. Данные распределяются по базам данных, в зависимости от различных характеристик. Сложность последующей обработки, зависит от объема информации, которую необходимо проанализировать, а также архитектурного типа хранения данных.

Использование технологии data mining позволяет существенно улучшить показатели анализа информации с последующей системой краткосрочного поиска по значению. Использование такой технологии позволит повысить эффективность работы архивов судовых показателей за все время эксплуатации судна.

Сама технология анализа данных недоскональная и требует постоянной модификации, для увеличения собственной эффективности.

Добавление современной архитектуры перебора данных в базах, позволит увеличить эффективность анализа данных, состоящих из большого количества показателей состояния судна и его оборудования. Одной из таких архитектур – есть Map Reduce.

Ключевые слова: анализ данных, судовые показатели, базы данных, поисковые алгоритмы, большие данные.

The ideological basis of the study is to analyze the data obtained in the result of a large number of high-tech equipment. The data is distributed in databases, depending on various characteristics. The complexity of the subsequent processing depends on the amount of information you need to perform, as well as architectural type of data storage.

The use of data mining technology allows to significantly improve the analysis of information and subsequent short-term search value. The use of this technology will improve the efficiency of the archives of marine indicators for all time of operation of the vessel. The technology of data analysis is not thorough and requires permanent modification to increase their own efficiency.

The addition of modern architecture through data in the databases, will allow to increase efficiency of data analysis, consisting of a large number of indicators of the condition of the vessel and its equipment. One of these architectures is Map-Reduce.

Keywords: data analysis, ship performance, databases, search algorithms, big data.

Introduction. Modern swimming facilities are equipped with a large number of various special systems. The main task of such systems is obtaining readings from operating equipment and transmission to the user terminals.

However, due to the growth in the number of shipboard systems, which utilize for its operation a modern digital algorithms, as well as taking into account the increasing automation of modern ships, increasing the number of systems of transfer of the readings over a period of time which contributes to the development and improvement of monitoring systems and processing of such information.

Analysis. Management system (SU) of the ship is a distributed (decentralized) network SU, composed of individual subsystems and hardware complexes for various purposes, the United working on a data exchange system (OXOD) included in the communication system.

From the point of view of processes in the communication system, its model contains several interacting layers.

At the base lies the transport subsystem, on which the layer of the network operating system that organizes the applications and user provisioning. On top of the operating system is the application layer. In particular, because of the special role of data warehouses and database management systems

(DBMS), this class of system applications is segregated into a separate network layer.

At the next level are working the system services that use a DBMS as a tool to search for and provide information in a comfortable for decision form to the officials of SU, and also perform some processing of information (directory service, e-mail, the system of collective work).

A centralized system of collection and storage of information, are not intended for a fast output of information received with regard to dynamic add new information.

To solve this problem, many SU are formed based on the separation of the data keyed into a database for relational and non-relational. Such a mixed architecture the base complicates the process of information processing and output of results at user request.

One of the methodologies, which helps to solve tasks of different classes of search patterns and the interpretation of the results is the methodology of data mining Data Mining. It is used to detect and explore patterns in arrays of semi-structured information and building models describing the behavior of complex systems [1].

A characteristic feature of the data analysis methods Data Mining is the use of various algorithms for finding patterns in the data.

Expansion of the set of data-mining models in various algorithmic nature can be productive in the class of problems where not accurately work classical methods: statistical, analytical or deterministic.

Each stage of the research data, we can build a finite number of hypotheses that can be confirmed or not be confirmed subsequently.

The more constructed models and descriptions are close to the hypotheses, the more we have the right to assume the accuracy of the result. Of course, in the study of real data, any conclusions you can do with a finite degree of accuracy.

When analyzing data using the methodology of Data Mining, we can build descriptive and predictive models based on multiple algorithms.

The obtained results can move us in finding hidden patterns in the data.

At the same time, then often the situation arises when future values calculated by one model differ from those values found for the other model. This means that at least one of the models gives only approximate values of the target variable.

With a groundswell of information in the world and the need to handle it in a reasonable time faced the issue of vertical scalability is the growth of processor speed has stayed at 3.5 GHz, the speed of reading from the disk also grows quiet pace, plus the price powerful servers are always more total price a few simple servers. In this situation, the ordinary relational database, even clustered on the disk array, is not able to solve the problem of speed, scalability and throughput.

The only way out – horizontal scaling where multiple independent servers connected by the fast network and each owns/handles only part of the data and/or only a portion of read requests-update. In this architecture, to increase the capacity of the storage (capacity, response time, throughput) it is only necessary to add a new server to the cluster. Procedures sharding, replication, failover (the result will be obtained even if one or more servers stopped responding), data redistribution when adding nodes involved herself NoSQL database [2].

The purpose of the study. An important factor arising in the development of systems analysis marine systems is their storage. As storage system it is necessary to use a combined structure composed of several DBMS is able to place the information received on the network.

For this, it is important to develop a data warehouse consisting of a certain number of DBMS.

The concept of data warehouse (DWH) is the idea of separating the data used for operational processing and for the solution of analysis tasks.

It allows to use data structures that meet the requirements of their storage, including use in OLTP systems and systems analysis.

This separation allows to optimize the structure of the operational data store (operational databases, files, spreadsheets, etc.) to perform operations of insertion, modification, deletion and searching, and data structures used for the analysis (for analytical queries) [3].

In order for the update operation and the reading was effective, NoSQL databases, you must use a structure with random access, such as B-trees.

So, if we abandon the arbitrary update data, and process the entire set sequentially, it is possible to achieve significant performance gains.

All of these factors, generalize the formation of such a search architecture like Hadoop.

The standard used in the Hadoop architecture is the use of MapReduce tasks (Fig.1).

At the beginning of calculations the input data set is divided into several subsets. Each subset is processed on a separate node of the cluster.

Map task on each node receives at input a set of pairs key-value and returns another set of pairs.

Next, all pairs are grouped by key, sorted, and fed to the input of the reduce task, which creates the final result or input for another map task.

This achievement consists of performing three steps:

- The Map phase: the processors and disks on each node are busy processing their data.

- The Reduce phase: the results obtained in the first stage, are transferred over the network and aggregated.

- In the third stage the results are stored in the file system (visible on the chart jump record in HDFS).

Data processing in a MapReduce architecture is a complex technical process, consisting of a large set of sequentially executed operations:

– Run application: transfer of the application code into the main (master) and slave nodes (workers).

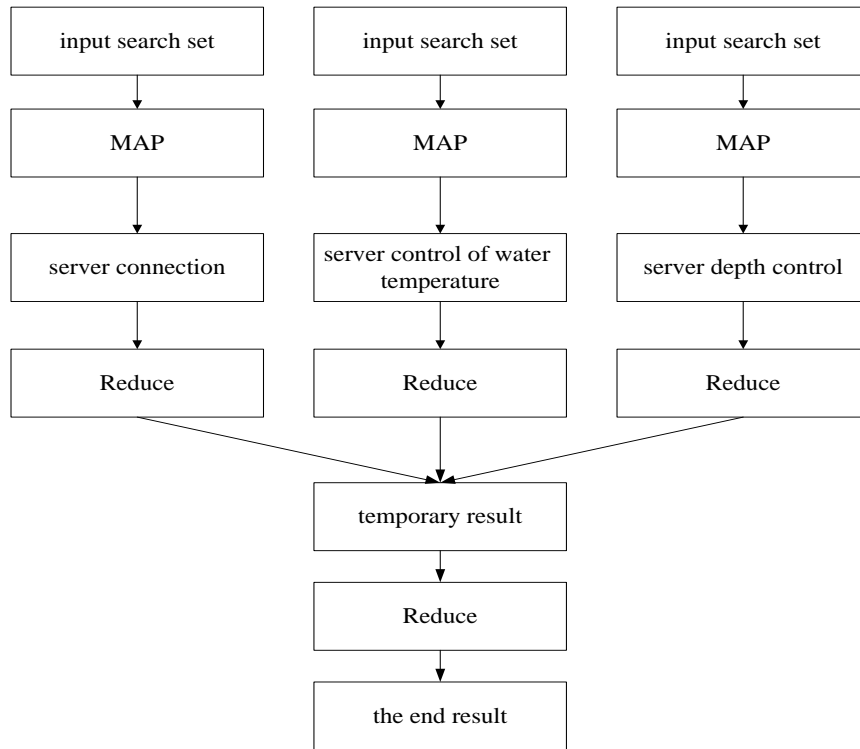


Fig. 1. MapReduce architecture

– Master assigns specific tasks (Map or Reduce) and distributes portions of the input data to compute nodes (workers).

– Map-nodes assigned reading input and start processing.

– Map-nodes locally keep intermediate results: each node stores the result on local disks.

– Reducer nodes read intermediate data from Map and Reduce nodes perform data processing.

– Reduce-sites store the final results in output file, usually in HDFS.

One of the concepts that make it possible to establish a unified data storage system is a system of support and decision-making (DSS). In DSS, these two types of data are called respectively the operational data sources (OID) and the data store.

The basis of the method of processing and storage is factor analysis, facilitating the identification of possible used information, depending on the circumstances of its application [4].

The results of the study. The formal outcome of the first stage of the use of factor analysis – obtaining the mixing matrix and on its basis – the correlation matrix.

The confusion matrix is a table, which records the measurement results of the observable variables: in the columns of the matrix (number of variables) presented to the evaluation subjects (or one subject) of each variable; the matrix rows are different observations for each variable. If the task of the researcher is to construct a factor space for one subject, it is necessary to provide a plurality of such observations.

In that case, when the construction of the group factor space, it is enough to obtain one rating from each Respondent. For subsequent calculation according to this correlation matrix with a fairly reliable correlation coefficients should provide the necessary number of observations, i.e. the number of rows in the matrix of confusion.

This allows you to use statistical evidence of information search, starting from a similar search situations arising in the process of using a software system.

Conclusion. Develop a software solution and method of analysing large amounts of information in databases as relational and not relational, will speed up the process of iterating through the data and search information from ship systems monitoring equipment.

REFERENCES

1. Арский Ю.М. Принципы конструирования интеллектуальных систем. / Ю.М. Арский, В.К. Финн // Информационные технологии и вычислительные системы. – № 4. – М., 2008. – С. 4-37.
2. Булычев А.В. Технологии интеллектуального анализа Data Mining и их использование при решении задач логистической оптимизации. / А.В. Булычев, В.Б. Бритков // Труды 51-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук»: Часть VII. Управление и прикладная математика. Т. 3. – М.: МФТИ, 2008. – 138 с.
3. Барсегян А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод // БХВ-Петербург, 2008. – 173 с.
4. Березин Ф.А. Уравнение Шредингера / Ф.А. Березин, М.А. Шубин. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 295 с.

Стаття надійшла до редакції 25.09.2017

ОНЛАЙН МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ Х-СЕРЕДНІХ
НА ОСНОВІ АНСАМБЛЮ
САМООРГАНІЗОВНИХ МАП Т. КОХОНЕНА

ОНЛАЙН МОДИФИКАЦИИ МЕТОДА Х-СРЕДНИХ
НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЯ
САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ Т. КОХОНЕНА

ONLINE MODIFICATION OF THE METHOD OF X-MEDIUM
ON THE BASIS OF ANSAMBLU
OF SELORGANIZED MAP T. KOHONEN

Є.В. БОДЯНСЬКИЙ, докт.техн.наук,
А.О. ДЕЙНЕКО, канд.техн.наук,
П.Є. ЖЕРНОВА, В.О. РЄПІН

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

Розглянуто послідовну модифікацію методу кластерування Х-середніх. Цей підхід базується на ідеї ансамблю кластерувальних нейронних мап Т. Кохонена. При цьому кожна кластерувальна мережа містить різну кількість нейронів, яка визначається можливою кількістю кластерів. Всі члени ансамблю працюють паралельно, а якість кластерування визначається за допомогою індексу Цалінського-Харабаша. Проведені експериментальні дослідження на даних з репозиторія UCI підтвердили ефективність запропонованого підходу.

Ключові слова: кластерування, метод Х-середніх, ансамбль нейронних мереж, самоорганізовна мапа, самонавчання, нейронна мережа Т. Кохонена, міра схожості.

Рассмотрена последовательная модификация метода кластеризации Х-средних. Этот подход основывается на идее ансамбля кластеризующих нейронных сетей, в качестве которых используются самоорганизующиеся карты Т. Кохонена. При этом каждая кластеризующая сеть содержит разное количество нейронов, определяемое возможным числом кластеров. Все члены ансамбля работают параллельно, а качество кластеризации определяется с помощью индекса Цалинского-Харабаша. Проведенные эксперименты на репозиторных данных подтвердили эффективность развиваемого подхода.

Ключевые слова: кластеризация, метод Х-средних, ансамбль нейронных сетей, самоорганизующаяся карта, самообучение, нейронная сеть Т. Кохонена, мера схожести.

© Бодянський Є.В., Дейнеко А.О., Жернова П.Є., Рєпін В.О., 2017

The modified X-means method for clustering in the case when observations are sequentially fed to processing the proposed. This approach's based on the ensemble of the clustering neural networks, proposed ensemble contains the T. Kohonen's self-organizing maps. Each of the clustering neural networks consist of different number of neurons, where number of clusters is connected with the quality of there neurons. All ensemble members process information that siquentially is fed to the system in the parallel mode. The effectiveness of clustering process is determined using Caliński-Harabasz index. The self-learning algorithm uses similarity measure of special type that. The feature of proposed method is absent of the competition step, i.e. neuron-winner is not determined. A number of experiments has been held in order to investigate the proposed system's properties. Experimental results have proven the fact that the system under consideration could be used to solve a wide range of Data Mining tasks when data sets are processed in an online mode. The proposed ensemble system provides computational simplicity, and data sets are processed faster due to the possibility of parallel tuning.

Keywords: clustering, X-means method, ensemble of neural network, self-organization map, self-learning, T. Kohonen's neural network, similarity measure.

Вступ. Завдання кластерування масивів даних є важливою частиною загальної проблеми Data Mining, а для її вирішення на сьогодні розроблено безліч різних методів [1,2].

При обробці великих обсягів інформації на перший план виходять вимоги по швидкодії і простоті чисельної реалізації використовуваних алгоритмів кластерування.

Одним з найбільш популярних алгоритмів є метод K-середніх, завдяки своїй простоті, наочності результатів і можливості їх ясної інтерпретації.

Цей метод відноситься до алгоритмів, заснованих на обчисленні прототипів-центроїдів, в результаті чого масив вихідних даних

$$X = \{x(1), x(2), \dots, x(k), \dots, x(N)\} \subset R^n,$$
$$x(k) = (x_1(k), \dots, x_i(k), \dots, x_u(k))^T, k = 1, 2, \dots, N$$

розбивається на m кластерів, де їх кількість m задається апріорно або вибирається, як правило, виходячи з суто емпіричних міркувань.

Для формального знаходження числа кластерів m був розроблений метод X-середніх [3], заснований на статистичному аналізі розподілу даних у вихідному масиві X .

Якщо при роботі з K-середніми число кластерів m було вибрано правильно, то отримані результати повністю збігаються з результатами X-середніх.

Останні роки в зв'язку з інтенсивним розвитком Data Stream Mining [4] природно виникла необхідність вирішення завдань кластерування в online режимі, коли дані на обробку послідовно надходять спостереження за спостереженням, обсяг масиву N не обмежений і зростає з часом, а k набуває сенсу поточного дискретного часу.

У подібній ситуації стандартні K -середні неефективні, проте з успіхом можуть бути використані кластерувальні нейронні мережі Т. Кохонена (SOM) [5], що вирішують завдання в online режимі, а одержаний результат повністю збігається з K -середніми в силу використання загального критерію кластеризації-самонавчання, заснованого на евклідовій метриці.

При цьому проблема вибору m тут залишається відкритою, включення додаткових «мертвих» нейронів в мережу, як правило, її не вирішує, а використання X -середніх в online режимі в їх традиційній формі принципово неможливо.

Альтернативою стандартним X -середнім може бути використання ідеї кластерувальних ансамблів, при цьому нами пропонується формувати ансамбль на основі паралельно з'єднаних входами SOM^m , кожна з яких апріорно орієнтована на різну кількість можливих кластерів $m = 1, 2, 3, \dots, M$. Таким чином, перша кластерувальна мережа ансамблю працює в припущенні $m = 2$, тобто в шарі Кохонена містить всього два нейрона з синаптичними вагами-центроїдами w_1^2 і w_2^2 .

Другий елемент ансамблю містить три нейрона з векторами синаптичних ваг w_1^3, w_2^3, w_3^3 , і, нарешті, остання SOM^M ансамблю працює в припущенні, що число можливих кластерів дорівнює M , тобто містить M нейронів – адаптивних лінійних асоціаторів.

Мета роботи. Мета роботи полягає у дослідженні результатів модифікації методу x -середніх на основі ансамблю самоорганізованих мап Т. Кохонена.

Матеріали дослідження.

1. Алгоритм налаштування нейронних мереж ансамблю

Для навчання кожної з окремих SOM^m можуть бути використані як стандартні кохоненівські WTA- і WTM-правила самонавчання, так і їх модифікації.

Розглянемо процес самонавчання m -й мережі Кохонена SOM^m , що містить m нейронів з синаптичними вагами

$$\{w_1^m, w_2^m, \dots, w_m^m\} \subset R^n.$$

В основі алгоритму налаштування синаптичних вагів полягає принцип конкурентного самонавчання, який реалізується в три основні етапи (конкуренція, кооперація, синаптична адаптація) і починається з

аналізу вхідного вектора-образу $x(k)$, що надходить з рецепторного (нульового) шару на всі нейрони шару Кохонена.

Для кожного з нейронів обчислюється відстань

$$D(x(k), w_j^m(k-1)) = \|x(k) - w_j^m(k-1)\|, j = 1, 2, \dots, m,$$

при цьому, якщо вхідні сигнали попередньо пронормовані за допомогою перетворення

$$\tilde{x}(k) = \frac{x(k)}{\|x(k)\|} \quad (1)$$

так, що $\|\tilde{x}(k)\| = 1$, а в якості відстані використовується евклідова метрика, то мірою схожості (подібності) векторів $\tilde{x}(k), w_j^m(k-1)$ може служити скалярний добуток

$$\text{sim}(\tilde{x}(k), w_j^m(k-1)) = x^T(k)w_j^m(k-1) = \cos(\tilde{x}(k), w_j^m(k-1)). \quad (2)$$

Далі визначається нейрон-переможець «найближчий» до вхідного образу такий, що

$$\text{sim}(\tilde{x}(k), w^{m^*}(k-1)) = \max_j \text{sim}(\tilde{x}(k), w_j^m(k-1)),$$

після чого, опускаючи тимчасово процес кооперації, можна уточнити синаптичні ваги переможця за допомогою рекурентного співвідношення

$$w_j^m(k) = \begin{cases} w_j^m(k-1) + \eta(k) \times \\ \times (\tilde{x}(k) - w_j^m(k-1)), \text{ якщо } w_j^m(k-1) = w^{m^*}(k-1), \\ w_j^m(k-1) \text{ у протилежному випадку.} \end{cases} \quad (3)$$

Таким чином, процедура реалізує правило «переможець отримує все» (WTA), при цьому вектор синаптичних ваг переможця $w^{m^*}(k-1)$ «підтягується» до вхідного образу на відстань, що визначається величиною кроку

$$0 < \eta(k) < 1.$$

Регулювання кроку $\eta(k)$ зазвичай проводиться, виходячи з емпіричних міркувань, а загальна рекомендація полягає в тому, що він повинен монотонно зменшуватися в процесі самонавчання. У найпростішому випадку для регулювання кроку можуть бути використані співвідношення

$$\eta(k) = r^{-1}(k), r(k) = \alpha r(k-1) + \|x(k)\|^2, 0 \leq \alpha \leq 1,$$

або

$$r(k) = \alpha r(k-1) + 1, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (4)$$

для входів, нормованих відповідно до (1).

Зрозуміло, що при $\alpha = 1, \eta(k) = k^{-1}$, тобто задовільняє умовам стохастичної апроксимації.

Важливою особливістю нейронної мережі Кохонена є наявність етапу кооперації, коли нейрон-переможець $w^{m*}(k-1)$ визначає локальну область топологічного сусідства, в якому збуджується не тільки він сам, але і його оточення, при цьому більш «схожі» на переможця нейрони збуджуються сильніше ніж більш віддалені «сусіди». Ця область описується функцією сусідства $\varphi(j, l), l = 1, 2, \dots, m$, що залежить від відстані

$$D(w^{m*}(k-1), w_l^m(k-1)) = D(w_j^m(k-1), w_l^m(k-1)),$$

між переможцем і будь-яким з нейронів $w_l^m(k-1)$ шару Кохонена. Як правило $\varphi(j, l)$ – це ядерна функція симетрична щодо максимуму в точці з $D(w_j^m(k-1), w_l^m(k-1))$ і приймаюча в ній одиничне значення $\varphi(j, l) = 1$. Зі збільшенням відстані $D(w_j^m(k-1), w_l^m(k-1))$ ця функція монотонно зменшується.

У переважній більшості випадків в якості функції сусідства використовується гавсіан

$$\varphi(j, l) = \exp\left(-\frac{\|w_l^m(k-1) - w^{m*}(k-1)\|^2}{2\sigma^2}\right).$$

Використання функції сусідства призводить до алгоритму самонавчання

$$w_l^m(k) = w_l^m(k-1) + \eta(k)\varphi(j, l)(\tilde{x}(k) - w_l^m(k-1)) \forall l = 1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

що реалізує правило «переможець отримує більше» (WTM), при цьому при $l = j$ цей алгоритм збігається зі співвідношенням (3).

В принципі, можна взагалі відмовитися від етапу конкуренції та визначення переможця як такого.

При цьому в ролі переможця в даному випадку виступає сам вхідний вектор-образ, а в якості функції сусідства використовується міра схожості (2).

При цьому алгоритм самонавчання m -го елемента ансамблю набуває вигляду

$$\begin{aligned} w_i^m(k) &= w_i^m(k-1) + \eta(k) [\cos(\tilde{x}(k), w_i^m(k-1))]_{\pm} (\tilde{x}(k) - w_i^m(k-1)) = \\ &= w_i^m(k-1) + \eta(k) [\tilde{x}^T(k) w_i^m(k-1)]_{\pm} (\tilde{x}(k) - w_i^m(k-1)) = \\ &= w_i^m(k-1) + \eta(k) [y_l^m(k)]_{\pm} (\tilde{x}(k) - w_i^m(k-1)), \end{aligned} \quad (6)$$

де $[y_l^m(k)]_{\pm} = \max\{y_l^m(k), 0\}$ – невід’ємне значення l -го вихідного сигналу m -ої мапи Кохонена ансамблю.

Зрозуміло, що процедура (6) з обчислювальної точки зору набагато простіше стандартних алгоритмів (3), (5), завдяки виключенню етапу конкуренції і має ясний фізичний зміст.

2. Визначення кількості кластерів

В процесі роботи ансамблю постійно проводиться оцінка якості кластерування за допомогою критерію Цалінського-Харабаша [2] або в його стандартній формі, або за допомогою його online модифікації. При цьому критерій в загальному вигляді має форму

$$CH(m) = \frac{1}{m-1} Tr S_B^m \left(\frac{1}{N-m} Tr S_w^m \right)^{-1} \quad (7)$$

де $S_B^m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m N_j^m (w_j^m - w^{-m})(w_j^m - w^{-m})^T$ – матриця міжкластерної відстані для m кластерів;

$$w^{-m} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m N_j^m w_j^m - \text{центр ваги масиву даних } X ;$$

N_j^m – кількість спостережень, що відносяться до j -го кластеру, $j = 1, 2, \dots, m$;

$S_w^m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^N u_j(k) (x(k) - w_j^m)(x(k) - w_j^m)^T$ – матриця розсіяння m -го кластеру;

$$u_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x(k) \text{ належить } j\text{-му кластеру} \\ 0 - \text{у протилежному випадку} \end{cases}$$

– чітка функція належності k -го спостереження j -му кластеру.

Переписавши вираз для TrS_B^m у формі

$$TrS_B^m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m N_j^m \|w_j^m - w^{-m}\|^2,$$

а $TrS_w^m - TrS_w^m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m u_j(k) \|x(k) - w_j^m\|^2$, критерій (7) можна представити у вигляді

$$CH(m) = \frac{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \sum_{\tau=k-s+1}^k N_j^m \|w_j^m - w^{-m}\|^2}{\frac{1}{N-m} \sum_{j=1}^m \sum_{\tau=k-s+1}^k u_j(k) \|x(k) - w_j^m\|^2} \quad (8)$$

більш зручному з точки зору обчислювальної реалізації.

При аналізі даних, що надходять на обробку в online режимі, розрахунок критерію (8) доцільно організувати на ковзному вікні розмірності s ($s = 1, 2, \dots, N$), при цьому в поточний момент часу k $CH(m)$ можна записати як

$$CH(m, k) = \frac{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m N_j^m(\tau) \|w_j^m(\tau) - w^{-m}(\tau)\|^2}{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^N u_j(\tau) \|x(\tau) - w_j^m(\tau)\|^2},$$

де

$$w^{-m}(\tau) = \frac{1}{s} \sum_{\tau=k-s+1}^k x(\tau).$$

Як оптимальна кількість кластерів у вибірці m^* приймається m , що забезпечує максимум значенню $CH(m)$, тобто

$$CH(m^*) = \max_m \{CH(2), CH(3), \dots, CH(M)\}.$$

Пропонована процедура ансамблевого online кластерування на основі системи нейронних мереж Т. Кохонена є за суттю адаптивною модифікацією методу X -середніх, орієнтованою на обробку потоків даних, досить проста в чисельній реалізації і дозволяє вирішити задачу чіткого кластерування в умовах апріорно невідомого або змінного числа кластерів.

3. Імітаційне моделювання

Для підтвердження працездатності розробленого ансамблю самоорганізованих мереж Т. Кохонена була вирішена задача кластерування на основі штучно згенерованої вибірки і тестових вибірок з UCI-репозиторія [14]. Було взято набори даних:

1. Штучна вибірка Random Matrix, яка наочно відображає три лінійно розділимих кластери.

Вибірка Random Matrix, як представлено на рис. 1, містить три лінійно розділимих класів, де кожен елемент вибірки має три випадкові параметри.

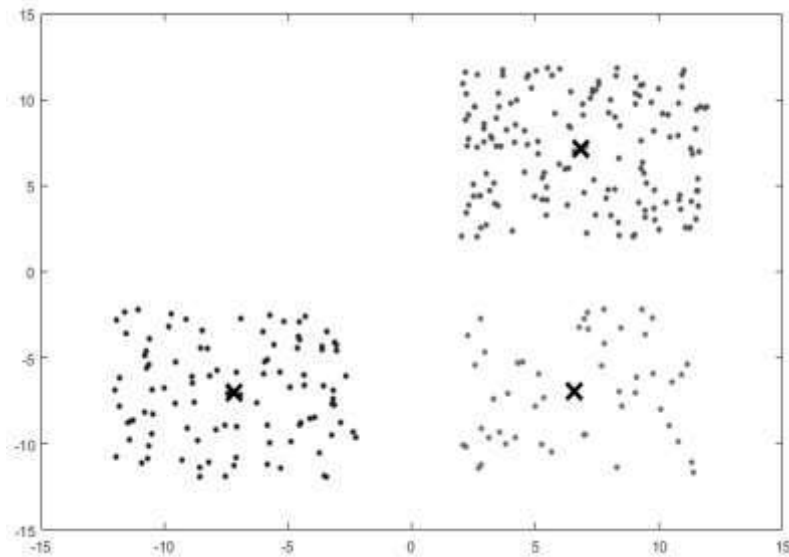


Рис. 1. Штучно згенерована лінійно розділима вибірка Random Matrix

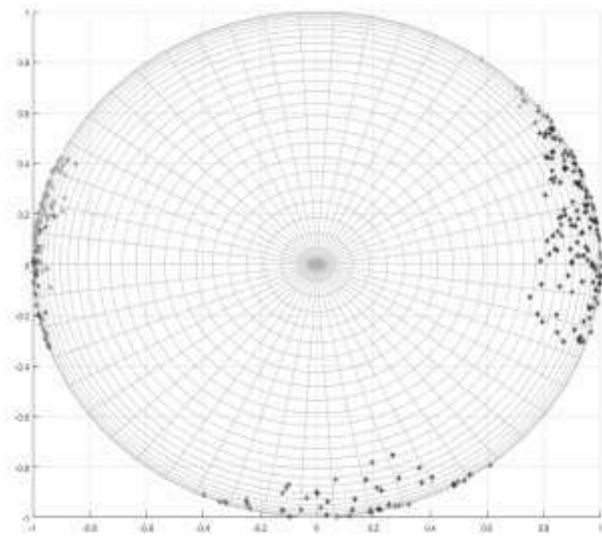
2. Тестова вибірка «Iris». Вибірка складається з даних про квітки ірису, по 50 примірників з трьох видів – Ірис щетинистий (Irissetosa), Ірис віргінський (Irisvirginica) і Ірис різнокольоровий (Irisversicolor).

Для кожного екземпляра вимірювалися чотири характеристики (в сантиметрах): довжина чашолистки (sepalength); ширина чашолистки (sepalwidth); довжина пелюстки (petallength); ширина пелюстки (petalwidth).

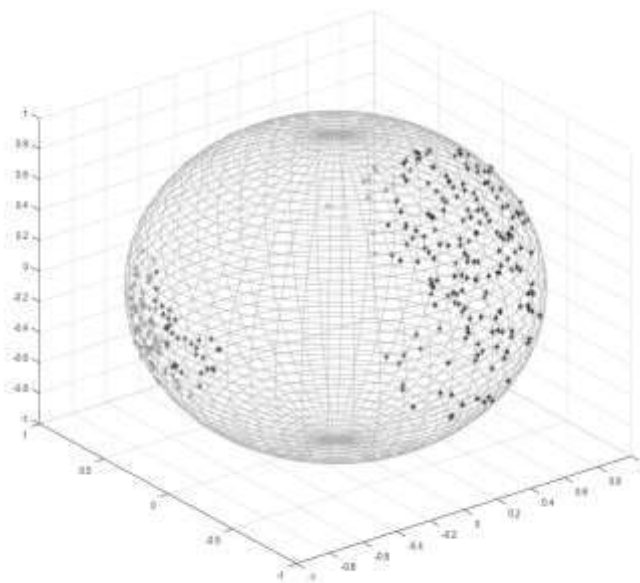
Всі дані були спочатку пронормовані на гіперкулю в інтервалі $[-1,1]$ і відцентровані щодо середнього значення.

З метою оцінки ефективності ансамблю самоорганізовних мап Т. Кохонена (SOM^m) результати кластерування порівнювались зі стандартним методом кластерування К-середніх.

Для підтвердження якості кластерування було взято індекс Цалінського-Харабаша, який наведено в табл. 1 для вибірок Random Matrix та Iris. Візуалізація результатів кластерування наведена на рис. 2 та рис. 3.

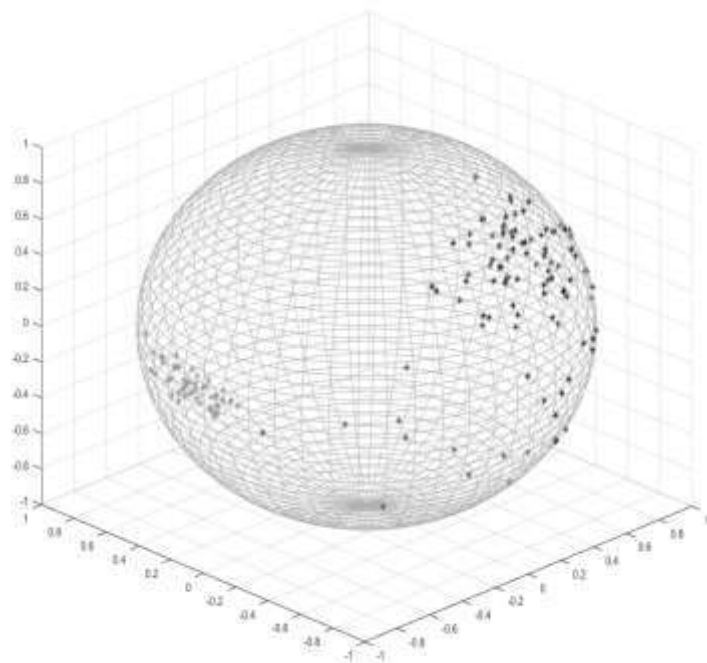


а)

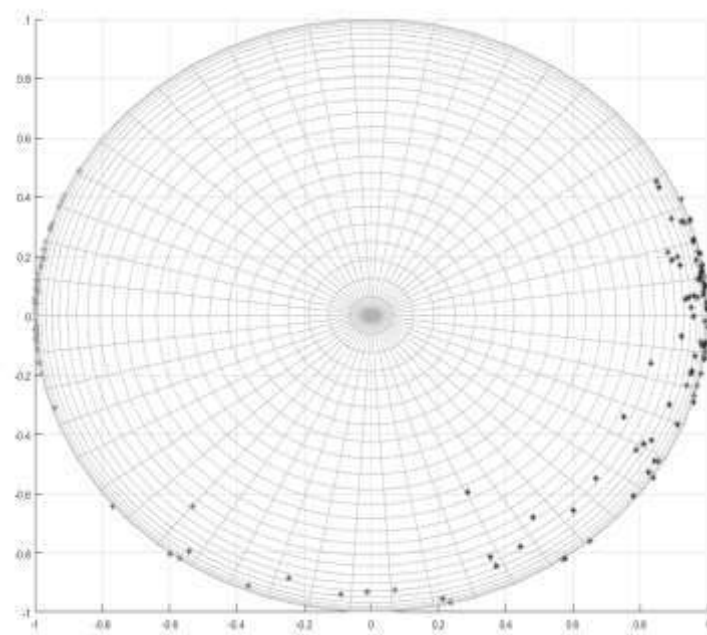


б)

*Рис. 2. Візуалізація вибірки Random Matrix:
а) вид збоку; б) вид зверху*



a)



б)

Рис. 3. Візуалізація вибірки Iris:
а) вид збоку; б) вид зверху

Таблиця 1

Індекс Цалінського-Харабаши для вибірок *Random Matrix* та *Iris*

RANDOM MATRIX		
Метод	SOM ^m	k-means
Індекс СН для 2 кластерів	650,119137400817	49,3904185658740
Індекс СН для 3 кластерів	782,603215072022	611,890289394461
Індекс СН для 4 кластерів	585,205208331037	411,869958970689
IRIS		
Метод	SOM ^m	k-means
Індекс СН для 2 кластерів	506,384020879337	24,1478668157212
Індекс СН для 3 кластерів	521,993404839107	95,9506726585689
Індекс СН для 4 кластерів	463,871189144183	74,4873397342681

Висновки. У статті запропоновано online аналог методу *X*-середніх призначений для вирішення завдання кластерування потоку даних в умовах, коли число кластерів апріорно невідомо.

В основі запропонованого підходу лежить ансамбль паралельно включених кластеру вальних нейронних мереж Т. Кохонена, що містять різну кількість нейронів. Оптимальна кількість кластерів визначається числом нейронів у найкращій в сенсі якості з кластерувальних нейронних мереж.

Введена модифікація методу *X*-середніх призначена для вирішення завдань в рамках інтелектуального аналізу потоків даних (*Data Stream Mining*).

ЛІТЕРАТУРА

1. *Gan G. Data Clustering: Theory, Algorithms and Application / G. Gan, Ch. Ma, J. Wu. – Philadelphia: SIAM, 2007. – 455 p.*
2. *Xu R. Clustering, IEEE Press Series on Computational Intelligence / R. Xu, D.C. Wunsch. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 370 p.*
3. *Pelleg D. X-means: extending K-means with efficient estimation of the number of clusters / D. Pelleg, A. Moor // Proc. 17th Int. Conf. on Machine Learning. – San Francisco: Morgan Kaufmann. – 2000. – P.727-730.*
4. *Ishioka T. An expansion of X-means for automatically determining the optimal number of clusters / T. Ishioka // Proc. 4th IASTED Int. Conf. Computational Intelligence. – Calgary, Alberta. – 2005. – P.91-96.*

5. Bifet A. *Adaptive Stream Mining: Pattern Learning and Mining from Evolving Data Streams* / A. Bifet. – Amsterdam: IOS Press, 2010. – 224 p.
6. Kohonen, T. *Self-Organizing Maps* / T. Kohonen. – Berlin: Springer-Verlag, 1995. – 362 p.
7. Strehl A. *Cluster Ensembles – A knowledge reuse framework for combining multiple partitions* / A. Strehl, J. Ghosh // *Journal of Machine Learning Research*. – 2002. – № 2. – P.583-617.
8. Topchy A. *Clustering ensembles: models of consensus and weak partitions* / A. Topchy, A.K. Jain, W. Punch // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2005. – № 27. – P.1866-1881.
9. Alizadeh H. *To improve the quality of cluster ensembles by selecting a subset of base clusters* / H. Alizadeh, B. Minaei-Bidgoli, H. Parvin // *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. – 2013. – № 26. – P.127-150.
10. Charkhabi M. *Cluster ensembles, majority vote, voter eligibility and privileged voters* / M. Charkhabi, T. Dhot, S.A. Mojarad // *Int. Journal of Machine Learning and Computing*. – 2014. – № 4. – P.275-278.
11. Bodyanskiy Ye. *Computational intelligence techniques for data analysis* / Ye. Bodyanskiy // *Lecture Notes in Informatics*. – Bonn: GI. – 2005. – P.15-36.
12. Бодянский Е.В. *Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения* / Е.В. Бодянский, О.Г. Руденко. – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2004. – 372 с.
13. *Аналіз та обробка потоків даних засобами обчислювального інтелекту: Монографія* / Є.В. Бодяньський, Д.Д. Пелешко, О.А. Винокурова, С.В. Маишталір, Ю.С. Іванов. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2016. – 235 с.
14. Murphy P.M. *UCI Repository of machine learning databases* / P.M. Murphy, D. Aha. – URL: <http://www.ics.uci.edu/mllearn/MLRepository.html>. CA: University of California, Department of Information and Computer Science, 1994.

Стаття надійшла до редакції 29.09.2017

**ОПТИМІЗАЦІЯ ОЦІНЮВАННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ
МЕДИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ОСНОВІ ГІБРИДНОГО ПІДХОДУ**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ
МЕДИЦИНСКИХ ПОКАЗАНИЙ
НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО ПОДХОДА**

**OPTIMIZATION OF EVALUATION OF THE INFORMATIVITY
OF MEDICAL INDICATORS
ON THE BASIS OF THE HYBRID APPROACH**

Є.В. БОДЯНСЬКИЙ, докт.техн.наук,

І.Г. ПЕРОВА, канд.техн.наук, **Г.В. СТОЙКА**

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

У роботі пропонується новий підхід до оцінки інформативності медичних показників, відмінною рисою якого є оптимальне поєднання методів компресії вихідного простору ознак (Feature Extraction) і методів вибору найбільш інформативних показників з набору наявних (Feature Selection). Таким чином, досягається лінгвістична інтерпретовність простору ознак і оптимальний вибір скороченого набору ознак.

Ключеві слова: метод головних компонент, інформативність показників, медичне діагностування, власний вектор, власне значення.

В работе предлагается новый подход к оценке информативности медицинских показателей, отличительной особенностью которого является оптимальное сочетание методов компрессии исходного пространства признаков (Feature Extraction) и методов выбора наиболее информативных показателей из набора имеющихся (Feature Selection). Таким образом, достигается лингвистическая интерпретируемость пространства признаков и оптимальный выбор сокращенного набора признаков.

Ключевые слова: метод главных компонент, информативность показателей, медицинское диагностирование, собственный вектор, собственное значение.

Feature Selection task is one of most complicated and actual in Data Mining area. Any approaches for it solving are based on non-mathematical and presentative hypothesis. New approach for evaluation of medical features information quantity, based on optimal combination of Feature Selection and Feature Extraction methods. This approach permits to produce optimal reduced number of features with linguistic interpreting of each ones. Hybrid system of Feature Selection/Extraction is proposed.

© Бодянский Є.В., Перова І.Г., Стойка А.В., 2017

This system is numerically simple, can produce Feature Selection/ Extraction with any number of features using standard method of principal component analysis and calculating distance between first principal component and all medical features.

Keywords: *Principal Component Analysis, Feature Selection, Feature Extraction, Medical Data Mining, Eigen Vector, Eigen Value.*

Вступ. В цей час задача оцінки інформативності вхідних показників, як і задача стиснення інформації при проведенні діагностування в медицині є однією з найбільш актуальних і складних.

Необхідність такої обробки обумовлена тим, що медичні вибірки даних досить часто містять занадто велику кількість ознак при малому числі спостережень (пацієнтів), що істотно обмежує можливості існуючих методів для проведення подальшого діагностування.

Аналіз основних досягнень і літератури. Необхідним елементом загальної задачі Data Mining є етап попередньої обробки даних, в якому реалізуються такі завдання як Data Reduction (очищення і заповнення пропусків), Feature Selection (вибір найбільш інформативних ознак з набору наявних) та Feature Extraction (стиснення або компресія вихідного простору ознак) [1-7].

Одним з найважливіших етапів є завдання Feature Selection / Feature Extraction бо від вибору конкретних ознак і від їх кількості часто залежить як якість класифікації (діагностування), так і в принципі можливість її проведення.

На сьогоднішній день найбільш чітко математичне обґрунтування отримали методи Feature Extraction такі, як метод головних компонент (Principal Component Analysis) [8-10], дискримінантний аналіз, Principal Manifolds Analysis [11].

Для вирішення завдання компресії даних (Feature Extraction) часто використовується неймережевий підхід, що особливо актуально в завданнях глибокого навчання (енкодери типу Bottle Neck, Restricted Boltzmann Machine та інші) [11-12]. Однак, при проведенні медичного діагностування надзвичайно важливим є можливість інтерпретації результатів на рівні вхідних факторів. І тут на перший план виходять завдання виділення найбільш інформативних ознак з набору наявних (Feature Selection). Найчастіше завдання Feature Selection будуються на інтуїтивних неформальних припущеннях [13], тому актуальним завданням є формалізація та оптимізація цього процесу.

Вибір найбільш інформативних ознак з набору наявних (Feature Selection) є процесом вибору відображення вигляду $x^R = f(x)$, в якому вхідний вектор-образ $x(k) = (x_1(k), \dots, x_n(k))^T$, ($k = 1, 2, \dots, N$ – загальна кількість векторів-образів) належить простору R^n , а трансформований вектор належить простору R^{n^R} , причому $n^R < n$. Скорочений простір

ознак повинен складатися з найбільш інформативних показників вихідного простору R^n [14]. Таким чином, головною метою такого перетворення є зменшення розмірності простору ознак так, щоб були збережені оптимальні характеристики даних, необхідні для здійснення подальшого процесу медичного діагностування.

Застосування гібридних систем для різних завдань при інтелектуальній обробці даних медико-біологічних досліджень (Medical Data Mining) має безперечний інтерес і підвищує якість діагностування, класифікації (кластеризації), розпізнавання образів, оскільки гібридизація дозволяє об'єднати переваги різних систем для досягнення поставленої мети. Актуальним завданням є застосування таких систем і для пошуку найбільш інформативних ознак в різних завданнях, особливо в задачах медичного діагностування, які виникають у зв'язку з дефіцитом (наприклад, нечіткість, незавершеність, наявність викидів та пропусків в даних) інформації.

Мета дослідження, постановка задачі. У роботі пропонується інтегрувати переваги систем, заснованих на Feature Extraction і Feature Selection та створити єдину гібридну систему Feature Extraction-Selection оцінки інформативності показників із виділенням найбільш інформативних без втрати фізичного сенсу (лінгвістичної інтерпретовності) скороченого простору ознак.

Таким чином, пропонується новий підхід, який полягає в тому, що на основі використання методу головних компонент (Principal Component Analysis) найбільш інформативними визначаються ті ознаки, що мають найменші відстані (у сенсі манхеттенської метрики) до першої головної компоненти вихідного набору даних.

Матеріали досліджень. На першому етапі реалізації підходу, що пропонується, всі виміряні у пацієнта ознаки формують матрицю ознак, представлену у вигляді таблиці «об'єкт-властивість». Якщо в ній є пропуски, то такі пацієнти повинні бути або видалені, або їх необхідно заповнити виходячи з припущень до заповнення пропусків, описаних в [15].

Далі вхідні дані повинні бути центровані щодо середнього \bar{x}_i за допомогою співвідношення

$$x_norm_i(k) = x_i(k) - \bar{x}_i \quad (1)$$

та закодовані в інтервал або $[0;1]^n$, або $[-1;1]^n$ згідно із формулами (2) і (3) відповідно

$$x_kod_i(k) = \frac{x_norm_i(k) - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (2)$$

$$x_kod_i(k) = \frac{2 \cdot x_norm_i(k) - x_{i\max} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (3)$$

Далі обчислюється перший власний вектор і формується $(N \times 1)$ вектор перших головних компонент. При цьому перша головна компонента системи показників

$$x_kod(k) = (x_kod_1(k), \dots, x_kod_n(k))^T \in R^n$$

визначається як

$$\hat{y}^{(1)}(x_kod) = l_1 \cdot x_kod, \quad (4)$$

де l_1 – перший рядок матриці $L = \begin{pmatrix} l_{11} & \dots & l_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ l_{nR_1} & \dots & l_{nR_n} \end{pmatrix}$, власний вектор

коваріаційної матриці ознак Σ , який відповідає найбільшому власному числу цієї матриці;

l_{11} – проекція першої головної компоненти на вісь першої ознаки;

l_{nR_n} – проекція n^R -ї головної компоненти на вісь n -ї ознаки.

Рядки матриці L задовольняють умові ортогональності $LL' = L'L = I$,

$$\Sigma = (\sigma_{zj}), \quad (5)$$

$$\sigma_{zj} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_kod_i^{(z)} - \bar{x}^{(z)}) (x_kod_i^{(j)} - \bar{x}^{(j)})}{N}, \quad z, j = 1, \dots, n, \quad (6)$$

Наступним кроком є визначення вектору-ознак найближчого в сенсі манхеттенської метрики до першої головної компоненти (визначення ознаки-«переможця»), тобто відшукується вектор-ознак з мінімальною відстанню

$$d(x_kod(z), \hat{y}^{(1)}) = \sum_{i=1}^N |x_kod_i(z) - \hat{y}_i^{(1)}|. \quad (7)$$

Далі з вихідної матриці даних виключається ознака-«переможець» і робота системи триває на скороченій матриці ознак до тих пір, поки всі ознаки або будуть перебрані, або поки не виникне необхідність зупинити роботу системи.

На рисунку представлена гібридна система оцінювання інформативності медичних показників, що складається з блоку нормування та центрування вхідних ознак, на який надходить вхідний вектор

$$x(k) = (x_1(k), \dots, x_n(k))^T.$$

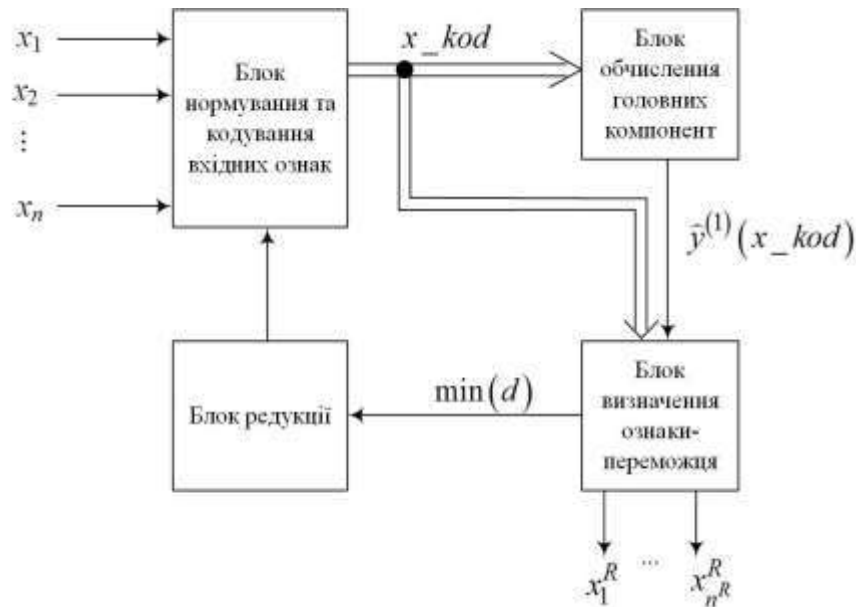


Рис. 1. Гібридна система оцінювання інформативності медичних показників

На виході цього блоку з'являється вектор закодованих ознак згідно із (1), (2), (3). Далі за допомогою метода головних компонент виділяється перша головна компонента $\hat{y}^{(1)}(x_kod)$ згідно із (4-6) та у блоці визначення ознаки-«переможця» визначається та ознака, відстань до якої у сенсі манхеттенської метрики до першої головної компоненти є найменшою згідно із (7).

На заключному етапі у блоці редукції ця найбільш інформативна ознака вилучається з таблиці «об'єкт-властивість» і система починає пошук наступної на інформативності ознаки.

В результаті роботи гібридної системи оцінки інформативності медичних показників з вихідного набору даних

$$x(k) = (x_1(k), \dots, x_n(k))^T \in R^n$$

буде сформований скорочений набір найбільш інформативних ознак

$$x^R(k) = (x_1^R(k), \dots, x_{n^R}^R(k))^T \in R^{n^R}, n^R < n.$$

Результати досліджень. Для перевірки роботи запропонованої гібридної системи оцінки інформативності медичних показників були використані медичні вибірки даних з репозиторію UCI Каліфорнійського університету, а саме dermatology.data (має 34 ознаки) [16], breast-cancer.data (має 9 ознак) [17], pima-indian-diabetes.data [18], parkinsons.data [19]. В кожній із вибірок була проведена процедура пошуку найбільш інформативних ознак, результати представлені у таблиці.

Таблиця

Перелік ознак за інформативністю у досліджуваних вибірках даних

Вибірка даних	Перелік ознак, починаючи з найбільш інформативних
dermatology.data	21, 16, 33, 20, 29, 2, 19, 4, 28, 27, 22, 6, 9, 12, 10, 34, 5, 32, 17, 25, 3, 14, 26, 1, 18, 11, 8, 15, 24, 7, 23, 31, 13, 30
breast-cancer.data	6, 2, 3, 1, 7, 5, 8, 4, 9
pima-indians-diabetes.data	6, 3, 2, 1, 8, 4, 7, 5
parkinsons.data	19, 17, 20, 16, 14, 21, 11, 18, 9, 12, 10, 5, 4, 1, 2, 7

У вибірці dermatology.data найбільш інформативними виявились такі ознаки: подовження епідермальних гребнів, екзоцитоз, наявність смугового інфільтрату, потовщення епідермальних гребнів, поява пілко-видних гребнів, поява псоріатичних лусочок та інші. У вибірці breast-cancer.data: наявність немодифікованих ядер, однорідність розміру клітин, однорідність форми клітин, скупчення ущільненої маси та інші. У вибірці pima-indians-diabetes.data – це індекс маси тіла, діастолічний кров'яний тиск, концентрація глюкози в плазмі за 2 години та інші. У вибірці parkinsons.data – це сигнальний фрактальний показник масштабування, нелінійне динамічне вимірювання складності (RPDE), нелінійний вимір фундаментальної частотної варіації (spread1), виміри співвідношення шуму до тональних компонентів у голосі (HNR), вимір варіації в амплітуді голосового сигналу (Shimmer_DDA).

Висновки. Таким чином, у роботі запропонована гібридна система оцінювання інформативності медичних показників Feature Extraction-Selection, що дозволяє виділяти найбільш інформативні показники без втрати фізичного сенсу скороченого простору ознак. Актуальним питанням залишається вибір кількості найінформативніших ознак. Для нього доцільним є порівняльний аналіз діагностування на повній вибірці даних та на скороченій із контролем якості діагностування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bezdek J.C. *Prototype classification and feature selection with fuzzy sets* / J.C. Bezdek, P. Castelaz // *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*. – 1977. – № 7. – P. 87-92.
2. Pal S.K. *Fuzzy set theoretic measures for automatic feature evaluation: II* / S.K. Pal // *Information Sciences*. – 1992. – № 64. – P. 165-179.
3. Pal S.K. *Fuzzy set theoretic measures for automatic feature evaluation* / S.K. Pal, B. Chakraborty // *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*. – 1986. – № 16. – P. 754-760.
4. Priddy K.L. *Bayesian selection of important features or feed-forward neural networks* / K.L. Priddy, S.K. Rogers, D.W. Ruck, G.L. Tarr, M. Kabrisky // *Neurocomputing*. – 1993. – № 5. – P. 91-103.
5. Steppe J.M. *Improved feature screening in feedforward neural networks* / J.M. Steppe, K.W. Bauer // *Neurocomputing*. – 1996. – № 13. – P. 47-58.
6. De R.K. *Feature analysis: neural network and fuzzy set theoretic approaches* / R.K. De, N.R. Pal, S.K. Pal // *Pattern Recognition*. – 1997. – № 30. – P. 1579-1590.
7. Pregenzer M. *Automated feature selection with a distinctive sensitive learning vector quantizer* / M. Pregenzer, G. Pfurtscheller, D. Flotzinger // *Neurocomputing*. – 1996. – № 11. – P. 19-29.
8. Rao C.R. *The use and interpretation of principal component analysis in applied research* / C.R. Rao // *Sankhya*. – 1964. – Vol. 26. – № 4. – P. 329-358.
9. Okamoto M. *Optimality principal components multivariate analysis* / M. Okamoto // *Proc. 3 Int. Symp. Dayton*. – 1967.
10. Okamoto M. *Minimization of eigenvalues of a matrix and optimality of principal components* / M. Okamoto, M. Kanazawa // *Ann. Math. Statist.* – 1968. – Vol. 39. – № 3. – P. 1-20.
11. Bishop C.M. *Neural Networks for Pattern Recognition* / C.M. Bishop. – Oxford: Clarendon Press, 1995. – 482 p.
12. Cichocki A. *Neural Networks for Optimization and Signal Processing* / A. Cichocki, R. Unbehauen. – Stuttgart: Teubner, 1993. – 526 p.
13. Han J. *Data Mining: Concepts and Techniques* / J. Han, M. Kamber. – Amsterdam: Morgan Kaufman Publ., 2006. – 743 p.
14. Файнзильберг Л.С. *Математические методы оценки полезности диагностических признаков: Монография* / Л.С. Файнзильберг. – К.: Освіта України. 2010. – 152 с.

-
15. Mulesa P. *Fuzzy Spacial Extrapolation Method Using Manhattan Metrics for Tasks of Medical Data Mining* / P. Mulesa, I. Perova // *Computer Science and Information Technologies CSIT'2015*. – Lviv, 2015. – P. 104-106.
 16. *Dermatology dataset*. – Available from: <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/dermatology/dermatology.data>. – Access Date: 2008.
 17. *Breast Cancer in Wisconsin dataset*. – Available from: <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/breast-cancer-wisconsin/breast-cancer-wisconsin.data>. – Access Date: 2008.
 18. *Pima Indians Diabetes dataset*. – Available from: <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/pima-indians-diabetes/pima-indians-diabetes.data>. – Access Date: 2008.
 19. *Parkinson dataset*. Available from: <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/parkinsons/parkinsons.data>. – Access Date: 2008.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2017

**КОНЦЕПЦІЯ DATA MINING ПОБУДОВИ ПОШУКОВИХ ЗАПИТІВ
ПО ВЕЛИКІЙ КІЛЬКОСТІ КРИТЕРІЇВ**

**КОНЦЕПЦИЯ DATA MINING ПОСТРОЕНИЯ ПОИСКОВЫХ
ЗАПРОСОВ ПО БОЛЬШОМУ КОЛИЧЕСТВУ КРИТЕРИЕВ**

**THE CONCEPT OF DATA MINING BUILDING SEARCH QUERIES
FOR A LARGE NUMBER OF CRITERIA**

Н.О. ШИБАЕВА, канд.техн.наук,
В.В. ВЫЧУЖАНИН, докт.техн.наук, **Д.С. ШИБАЕВ**
Одесский национальный морской университет, Украина

Паливна система судна, є однією з технічних систем, свідчення стану якої передаються з високою частотою. Це дозволяє отримувати інформацію про стан паливних резервуарів судна, а також контролювати перекачування палива ну судно.

Судновласники є зацікавленою стороною у процесах контролю за судновим витратою палива, його ефективністю використання, а також якісної заправки судна в порту. Для досягнення найбільшого контролю, використовуються цифрові системи контролю наповненості резервуарів, що складаються з великої кількості датчиків. Також, для досягнення більшої точності заправки судна, обладнуються датчиками паливної магістралі як з віддає боку, так і з приймаючою.

Інформація, одержувана від датчиків, зберігається в судових базах даних, на головному судовому сервері, а також дублюються на берегові сервера компанії судновласника, для подальшого аналізу. Для подальшої обробки великого обсягу інформації використовуються сучасні засоби аналізу великого обсягу даних. Одним з таких методів є концепція data mining, що дозволяє побудувати сучасні пошукових запит з подальшою обробкою отриманої інформації з великої кількості критеріїв.

Ключеві слова: *паливна система судна, великі дані, аналіз даних, судові технології, контроль палива на судні.*

Топливная система судна, является одной из технических систем, показания состояния которой передаются с высокой частотой. Это позволяет получать информацию о состоянии топливных резервуаров судна, а также контролировать перекачку топлива ну судно.

Судовладельцы являются заинтересованной стороной в процессах контроля за судовым расходом топлива, его эффективностью использования, а также качественной заправки судна в порту.

© Шибеева Н.О., Вычужанин В.В., Шибеев Д.С., 2017

Для достижения наибольшего контроля, используются цифровые системы контроля наполненности резервуаров, состоящих из большого количества датчиков. Также, для достижения большей точности заправки судна, датчиками оборудуются топливные магистрали как с отдающей стороны, так и с принимающей.

Информация, получаемая от датчиков, сохраняется в судовых базах данных, на главном судовом сервере, а также дублируются на береговые сервера компании судовладельца, для дальнейшего анализа. Для последующей обработки большого объема информации используются современные средства анализа большого объема данных. Одним из таких методов является концепция *data mining*, позволяющая построить современные поисковые запросы с последующей обработкой полученной информации по большому количеству критериев.

Ключевые слова: топливная система судна, большие данные, анализ данных, судовые технологии, контроль топлива на судне.

Fuel system the vessel is one of the technical systems, the indications of which are transmitted with high frequency. This allows you to obtain information about the state of the fuel tanks of the vessel, and to control the pumping well, the ship.

Shipowners are interested parties in the control of marine fuel consumption, efficiency, and quality refueling ship in the port. For best control, use digital control system of filling tanks, consisting of a large number of sensors. Also, to achieve greater accuracy of filling of the vessel, sensors are equipped with fuel line with both giving and receiving.

The information obtained from the sensors is stored in the ship's databases on the main ship server and duplicated on the coast, the servers of the company of the shipowner, for further analysis. For processing large amount of information using modern means of analyzing large amounts of data. One of these methods is the concept of data mining, which allows to build a sophisticated search query with subsequent processing of the received information on a large number of criteria.

Keywords: *the fuel system of a vessel, big data, data analysis, marine technology, control of fuel on the ship.*

Introduction. Fuel on the ship is the responsible maintenance operation that requires special attention from the officers. It must be carried out in strict accordance with the «safety Rules on the vessels» and under the control of the engineer.

Directly supervises the admission of fuel to a third mechanic. Before receiving fuel, a senior (third) mechanic should be familiar with the fuel passport, to verify his data with the standard and to establish compliance with the technical specifications for the marine engine.

If necessary, select a test sample in accordance with GOST, in two copies: one for the tank farm and to the analysis of the thermotechnical laboratory of the shipping company. The sample is fixed by the act, composed of representatives of the depots and vessels.

Analysis. Fuel can be divided into three periods: preparatory, fuel and final. In the process of preparing the third operator has to provide the correct fuel and fire safety:

- measure the remaining fuel in the ship's tanks;
- coordinate with the mate in charge of cargo operations, the order of filling of fuel tanks;
- prepare fuel system for receiving fuel;
- to determine the fuel temperature is taken;
- assign the watch minder in place of receiving fuel from the vessel;
- alert the watch to the Navigator about the upcoming receiving fuel;
- prepare for the effect of ship fire-fighting equipment;
- to install the suction piping a tray of sand and a fire extinguisher.

When receiving fuel control the filling of tanks and communicate with guaranteed timely object to change the mode of fuel delivery and the termination of bunkering.

The fuel supply is stopped to the limit of filling the tank, to avoid «pressing».

When taken from the shore medium viscosity fuels in the winter and high viscosity at any time of the year should take into account the possibility of formation of plugs of solidified fuel in the receive pipeline.

It is therefore necessary to maintain the temperature of fuel take at least 15-20 ° C above the pour point, and after bunkering for 20-30 minutes to leave open the suction valves to fuel the glass in the tank.

After the fuel empty the suction piping of the fuel tanker and the vessel and divide the pipelines [1].

After receiving fuel performs measurements in tanks, from which fuel was supplied to the ship and in the ship's fuel tanks, setting the number of the adopted fuel. A lot of the adopted fuel is determined from the temperature correction on density.

The amount of water trapped in the fuel should be removed from admissions documentation.

The receiving process ends with the drawing up of the waybill signed by the representative of the tank farm and the mechanic took the fuel. Passport of fuel and invoice the chief engineer is the shipping company together with the machine report.

The purpose of the study. Each of these processes can be automated and simplified through the use of modern technology. Most ship systems are fully covered by the monitoring system and the deposition per time unit. Fuel system the vessel is no exception.

The fuel tanks using several types of sensors for more precise identification of the amount of fuel. Such sensors include float fuel level sensors, submersible sensors control the viscosity of the fuel and temperature gauges and the incoming fuel in the tank.

The information every second. For greater accuracy the impact of fuel, additionally installed sensors on the tank return and fuel on the main pipelines through which fuel is supplied to the vessel. System triplicates indications of fuel transfer can significantly increase the accuracy of loading fuel for the ship.

Through the use of such a control system, the accuracy of the amount of fuel in the tanks every second saved group readings from all sensors involved in this process.

All these data form a large array of information that is stored in the ship database and having a non-relational structure.

Shipping companies are interested in more accurate forecast of the consumption and control of fuel over the period of a ship's voyage.

This is done the system analysis of the fuel consumption and energy efficiency of powertrains vessels. To ensure these calculations used the same sensors as in the process of pumping the fuel. However, to perform this control in real time is problematic due to the large load on the communication channel.

The results of the study. Optimal is a method of processing data in flight, to control the running modes of the vessel, and also proportional to the fuel consumption in these modes. As the scope of information is enough large, it is necessary to develop a comprehensive solution that is able to analyze non-relational ship database for a long period of time and finding the exact data for each specified injection.

Algorithmic methods of processing large amounts of information, can simplify the search for such information.

Big data characterized by volume, variety and speed with which structured and unstructured data coming at networks in processors and storage, along with the processes of turning this data into information [2].

In these circumstances, to increase the efficiency of analyzing large amounts of information there is a need of new and innovative methods of information processing by automated cognitive procedures using the database of facts and knowledge bases, automatic generation of hypotheses, procedures, explanations initial state database of facts for the justification and acceptance of the hypothesis [3]. At an earlier stage of development of these technologies, attempts were made to use this approach to interpret a large number of calculated data [4].

One of the methodologies, which helps to solve tasks of different classes of search patterns and the interpretation of the results is the methodology of data mining Data Mining.

It is used to detect and explore patterns in arrays of semi-structured information and building models describing the behavior of complex systems. Data Mining is the exploration and discovery of «machine» in the raw data of knowledge that were not previously known, non-trivial, practically useful and available for human interpretation [5-6].

A characteristic feature of the data analysis methods Data Mining is the use of various algorithms for finding patterns in the data. Expansion of the set of data-mining models in various algorithmic nature can be productive in the class of problems where not accurately work classical methods: statistical, analytical or deterministic.

Each stage of the research data, we can build a finite number of hypotheses that can be confirmed or not be confirmed subsequently.

The more constructed models and descriptions are close to the hypotheses, the more we have the right to assume the accuracy of the result.

An important factor in the development of such systems is the consideration of its needs to equipment and data lines.

Due to this, the best solution is to develop a web-system which does not require installation and does not load the custom hardware does not use the high-speed data transmission, which simplifies its operation through VSAT technology, used as a standard marine satellite communication system to communicate with the Internet.

The process of searching for information online consists of the following steps:

- collection of information on the Internet from various sites;
- research on request;
- ranking results;
- indexing resources.

Despite the fact that every search engine has its own characteristics in search algorithms and ranking of the results, the principles of operation of all search engines in common.

Big data characterized by volume, variety and speed with which structured and unstructured data coming at networks in processors and storage, along with the processes to transform these data into information.

One of the architectures for processing data used in the application of search algorithms are the relational database management system (DBMS).

The use of these DBMSs yield the results the result of using a search algorithm with the system of constant circulation:

- waiver from strict consistency;
- care from the normalization and implementation of redundancy;
- the need for software simulation of functions of the SQL language;
- complexity of the client software;
- the difficulty of maintaining the health and resiliency of the resulting solution.

Disadvantages of using relational database systems has led to the development of adaptive-disciplined architecture, able to expand and scale as needed, with constant increase of data.

Such technologies include the use of NoSQL [9; 10].

Model data warehouse architecture NoSQL are divided into 4 categories depending on the conditions of use.

One of the most popular models used in cluster architecture is the storage of key-value. A distinctive feature is a simple data model, an associative array or dictionary, which allows to work with data by key.

The main objective of such storage – maximum capacity.

If the basis of the data used in the databases, the data are text entries that have a meaningful logical structure, use of document storage. The data model such storage allows you to combine a plurality of pairs key-value in an abstraction called «document». Documents can have nested structure, and to unite in collection. Work with documents produced by key enabling queries on attribute values.

If the database architecture is classic, mixed architecture, it uses columnar storage. Most similar to traditional relational DBMS. Data model and storage of this type involves storing the values as uninterpreted arrays of bytes, addressable tuples.

A special case when building database can be considered a repository on graphs. Such storage used with data that are naturally represented by graphs. The data model consists of vertices, edges, and properties. Working with data is done by graph traversal in the ribs with the desired properties.

Conclusion. Develop the concept of an algorithm processing a large volume of information generated during a fixed period, is an important issue. Solution to this problem may be to construct a universal algorithmic solutions able to analyze large amounts of information available in databases of different types.

The main factor of this method should be the processing speed and the accuracy of the forecasts resulting information. This should be considered dynamically-variable number of stored data in vessel databases, the coastal centres of information processing and intermediate cloud storage.

REFERENCES

1. Кончаков Е.И. *Техническая диагностика судовых энергетических установок [Текст] / Е.И Кончаков. – Владивосток: ДВГТУ, 2007. – 112 с.*
2. Tom White. *Hadoop: The Definitive Guide, 3rd Edition. O`Reilly Media, 2012. – 688 p.*
3. Арский Ю.М. *Принципы конструирования интеллектуальных систем / Ю.М. Арский, В.К. Финн // Информационные технологии и вычислительные системы. – № 4. – М., 2008. – С. 4-37.*

-
4. Геловани В.А. Программное обеспечение системы моделирования / В.А. Геловани, С.И. Болоткин, В.Б. Бритков. – Препринт. – М.: ВНИИСИ, 1978. – 26 с.
 5. Бритков В.Б. Интеллектуальные методы в решении задач использования океанологической информации / В.Б. Бритков, Н.А. Маленкова // Информационные технологии Государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды. Труды ВНИИГМИ-МЦД. – Вып. 170. – СПб.: Гидрометеиздат. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2002. – С. 252-277.
 6. Барсегян А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод // БХВ-Петербург, 2008. – 173 с.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2017

**СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА ОЦІНЮВАННЯ СУМІСНОСТІ
ЕЛЕМЕНТІВ БОЙОВОГО ЕКІПРУВАННЯ
В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ**

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ СОВМЕСТИМОСТИ
ЭЛЕМЕНТОВ БОЕВОЙ ЭКИПИРОВКИ
В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

**SYSTEM OF MONITORING AND EVALUATION OF SUMINITY
ELEMENTS OF THE BODY EQUIPMENT IN REAL-TIME MODES**

А.В. КУРГАНСЬКИЙ, канд.техн.наук,
Т.І. АСТІСТОВА, канд.техн.наук
М.М. КУРГАНСЬКА, І.В. СВІТЕЛЬСЬКИЙ

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

У статті розглянуто теоретичні основи та практичний досвід роботи створення системи з моніторингу та оцінювання ступеню сумісності елементів бойового екіпування в режимі реального часу.

Ключові слова: *бездротова натільна сенсорна мережа, бойове екіпування, сумісність, моніторинг, оцінювання*

В статье рассмотрены теоретические основы и практический опыт по созданию системы мониторинга и оценки степени совместимости элементов боевого экипировка в режиме реального времени.

Ключевые слова: *беспроводная нательная сенсорная сеть, боевая экипировка, совместимость, мониторинг, оценка*

The article deals with the theoretical foundations and practical experience of creating a system for monitoring and assessing the compatibility of military kit elements in real time.

Keywords: *wearable system, military kit, compatibility, monitoring, evaluation.*

Вступ. Застосування комплектів спеціального призначення (одягу та взуття) як єдиної системи з інтегрованою сукупністю кількісних та якісних параметрів дозволяє досягти максимальної його відповідності функціональним та службовим вимогам.

Впровадження військових стандартів Міністерства оборони України на основі стандартів НАТО (STANAG) у розрізі забезпечення сучасними комплектами бойового екіпування військовослужбовців потребує контролю відповідності якісного складу пакету матеріалів, дефектів конструкції, оптимізації маси та комплекту в цілому з метою уникнення обмежень функціональних та службових обов'язків, надмірного навантаження на опорно-руховий апарат.

Більшість систем використовують єдиний набір фізіологічних параметрів, що представляють середню особу.

Проте фізіологічні відмінності між окремими особами можуть суттєво вплинути на реакцію організму людини на навколишнє середовище. Факторами для індивідуальної характеристики осіб є загальна маса тіла та площа його поверхні, термічна ємність і провідність жиру, поглинання сонячного світла шкірою, віком, статтю та акліматизацією [1; 2]. Ці фактори суттєво впливають на кількісний та якісний склад систем моніторингу і, відповідно, на їх оцінювання.

Мета. Розробка системи моніторингу та оцінюванню у режимі реального часу ступеню сумісності елементів бойового екіпірування військовослужбовців.

Результати досліджень. На основі аналізу існуючих засобів моніторингу біомеханіки та біофізики тіла людини авторами [3] запропоновано розташовувати елементи бездротових натільних сенсорних мереж відповідно до схеми (рис. 1).

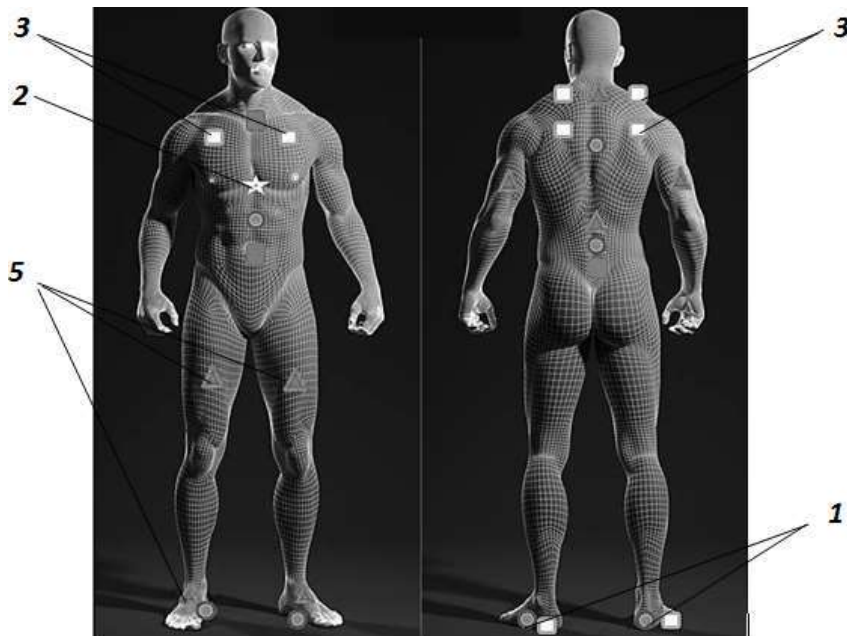


Рис. 1. Принципова схема базового розташування датчиків на тілі людини:

*1 – температури та вологості; 2 – серцевого ритму; 3 – тиску;
4 – гіроскоп-акселерометри; 5 – EMG*

Вимірювальна складова системи складається з датчиків тиску, температури та вологості, які є складовими дистанційних модулів. З метою синхронізації поведінкової складової системи до її складу включено гіроскоп-акселерометри.

З метою отримання значень параметрів підодягового простору та мікроклімату у взутті розроблено відповідне програмне забезпечення WBIMSoft (рис. 2) та WBIMSoft Core Analytics (рис. 3) [4].

Поєднання цих двох програмних продуктів дозволяє забезпечити отримання даних у реальному часі з понад 20 датчиків одночасно та незалежно створити комплекс тестів та критеріїв оцінювання, та отримати емпіричний результат оцінки зразка за цими тестами.

Програма здійснює обробку даних, зібраних в умовах зазначених регламентом, і являє собою продукт, направлений на взаємодію з кінцевим користувачем (рис. 3).

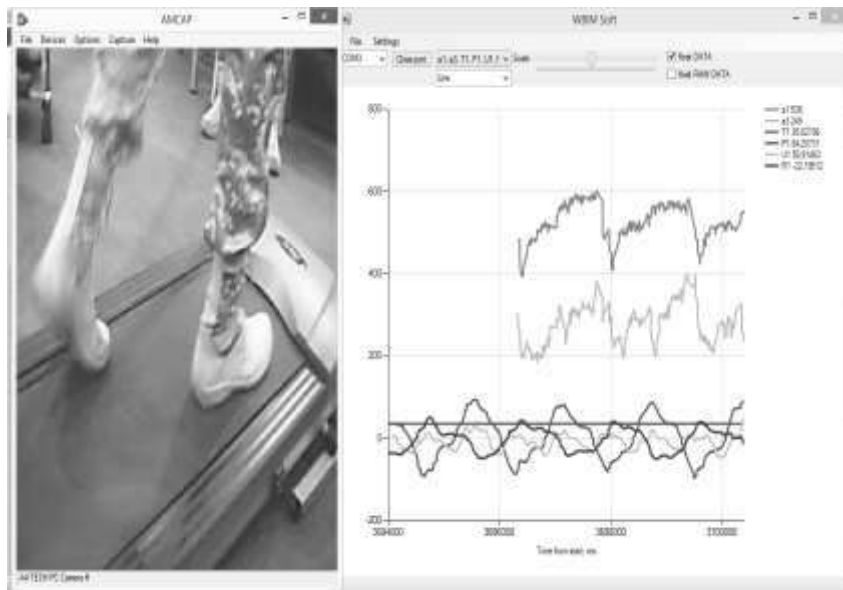


Рис. 2. Робоче вікно програми WBIMSoft

Нижче приведено алгоритм обробки вхідного сигналу, як один з найголовніших етапів роботи програми:

1. Імпортування даних з проб T, H, P тощо (де T – температура, H – вологість, P – тиск).
2. Попередня обробка даних через приведення сигналу до частотного домену.

Використання наступних функцій вікон для згладжування сигналу перед Швидким Перетворенням Фур'є: Hanning, Hamming, Blackman, Bartlett або Kaiser.

3. Створення сценаріїв для тестування зразків за допомогою конструктора сценаріїв та проведення тестування на попередньо оброблених даних.

Отримання результатів тестування з оцінкою відповідності.

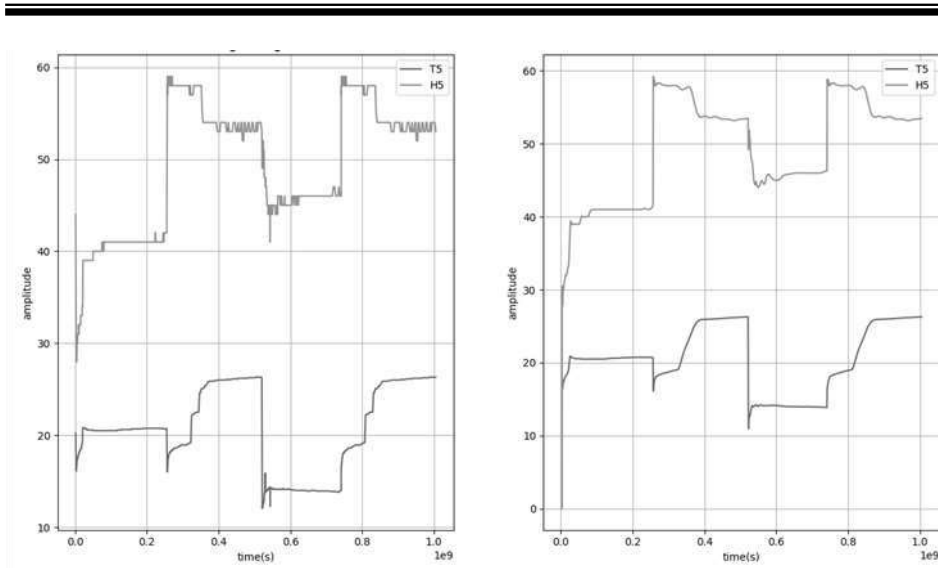


Рис. 3. Приклад Passband фільтрації вхідного сигналу в діапазоні $0.00f - 0.05f$ (df – відносна частота від 0.0 до 0.5) за допомогою фільтра Butterworth (3 порядок)

Розроблена система дозволяє у режимі реального часу встановлювати ступінь сумісності елементів одразу по закінченню дослідного носіння та надавати попередній звіт на основі вже отриманих даних з проб (рис. 4).

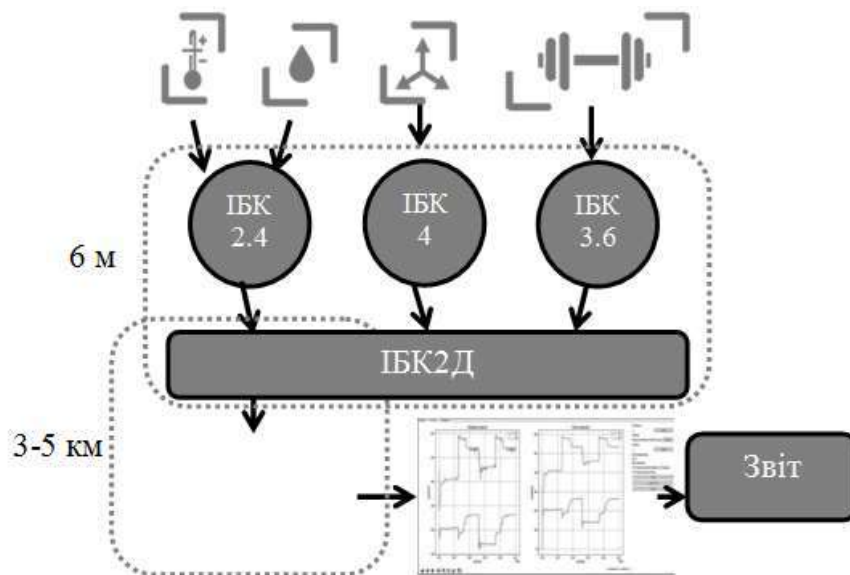


Рис. 4. Схема формування звіту щодо ступеню сумісності дослідних зразків

Висновки. Застосування запропонованої системи при її інтеграції до систем моніторингу біофізики одягу та фізичного стану військово-службовця дозволяє скоротити терміни дослідного носіння та отримувати попередні результати оцінювання одразу по його завершенню.

Такий підхід дозволяє знизити не тільки витрати людського ресурсу, а і, відповідно, зменшити витрати державних коштів на розробку та удосконалення предметів речового майна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fu M. Review on modeling heat transfer and thermoregulatory responses in human body / M. Fu // *Journal of thermal biology*, 2016. – Т. 62. – С. 189-200.
2. Kurganska M.M. Effects of physical properties of clothes on parameters of the microclimate layer / M.M. Kurganska, S.M. Berenzenko, M.S. Pavlova, V.M. Vasylenko // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design: Technical Science Series*. – 2017. – № 3. – С. 77-83.
3. Курганський А.В. Принцип зонально-диференційованого розташування елементів бездротових сенсорних мереж моніторингу мікроклімату під одягом / А.В. Курганський, С.М. Березненко, М.М. Курганська // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. – 2016. – № 5. – С. 118-125.
4. *WBIM Projects* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sites.google.com/knutd.com.ua/wbimsoft>

Стаття надійшла до редакції 20.09.2017

УДК 004.435

<https://doi.org/10.33082/td.2017.1-1.14>**ПАРАДИГМА ПОДАННЯ ЛІНГВІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ЗА ДОПОМОГОЮ ПОРОДЖУВАЛЬНИХ ГРАМАТИК****ПАРАДИГМА ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПОРОЖДАЮЩИХ ГРАММАТИК****THE PARADIGM OF LINGUISTIC SUPPLY SUBMISSION
BY GENERATIVE GRAMMAR ASSISTANCE****С.С. ВЕЛИКОДНИЙ**, канд.техн.наук, **О.С. ТИМОФЄЄВА**
Одеський державний екологічний університет, Україна

В статті розглянуто створення системи понять, що формують парадигму реінжинірингу інформаційних технологій, який необхідний у випадку їх еволюційного розвитку. Математичний апарат породжувальних граматик дозволяє описати процес переведення програмної системи, яка написана однією мовою програмування, на іншу визначену мову. Створена парадигма дозволяє працювати з багаторівневими інформаційними технологіями, складові частини яких написано різними мовами програмування.

Ключові слова: програмна система, генеративна лінгвістика, мова програмування, граMATика, продукція, аксіома, алфавіт, ланцюжок, символ.

В статье рассматривается создание системы понятий, формирующих парадигму реинжиниринга информационных технологий, который необходим в случае их эволюционного развития. Математический аппарат порождающих грамматик позволяет описывать процесс перевода программной системы, написанной одним языком программирования, на другой определённый язык. Созданная парадигма позволяет работать с многоуровневыми информационными технологиями, составные части которых написаны различными языками программирования.

Ключевые слова: программная система, генеративная лингвистика, язык программирования, грамматика, продукция, аксиома, алфавит, цепочка, символ.

The article describes the creation of a system's concepts that form the paradigm of reengineering information technologies. Linguistic support of information technology considers the construction of a software system using one or more mutually agreed programming languages. Each programming language is based on the rules of a particular grammar.

© Великодний С.С., Тимофєєва О.С., 2017

The mathematical apparatus of generative grammars allows us to describe the process of translating a program system written in one programming language into another specific language.

The created paradigm allows you to work with multi-level information technologies, the parts of which are written in different programming languages. The paradigm formed in the article, from the scientific point of view, is laid in the basis of the methodology of information technology reengineering, and from the practical point of view it will be necessary for system programmers working with multilanguage superstructures of software systems that evolve over time and are improved in the process of exploitation.

Keywords: *program system, generative linguistics, programming language, grammar, production, axiom, alphabet, chain, symbol.*

Вступ. Основою будь-якого суспільства є інформація. Без обміну та аналізу інформацією неможливий не тільки розвиток живого організму, але й його існування. Існує багато засобів передачі інформації між істотами, здебільшого за допомогою органів відчуттів. Щодо людини, то одним із основних засобів передачі інформації є мова, причому не тільки її звукова компонента (адже інформація може бути передана письмовою мовою, мовою жестів, шрифтом Брайля тощо).

Сучасною основою прискорення обміну інформацією між людством є інформаційні технології, технічне забезпечення яких складається із багатьох різноманітних пристроїв, що, по суті, є модифікаціями комп'ютера. Ці пристрої також обмінюються інформацією у вигляді даних (не тільки між собою, але й з людиною – користувачем або оператором), причому, в залежності від рівнів представлення даних, інформація може подаватися у вигляді: двійковий, вісімковий, десятковий, шістнадцятковий коди; машинний код; низько- та високорівневі мови програмування тощо.

Аналіз основних наукових досягнень і літератури. Наукову основу будь-якої мови (в тому числі й мови програмування) становить *лінгвістика*, що вивчає закони, моделі та правила мови. Особливою галуззю лінгвістики, яку варто застосовувати до будови мов програмування є *генеративна лінгвістика* [1], засновником якої був Аврам Ноам Чомські (Avram Noam Chomsky, у радянські часи зустрічалася інтерпретація «А.Н. Хомський»), що створив революцію у мовознавстві [2; 3].

За способом завдання вірних *ланцюжків*, *формальні граматики* розділяють на породжувальні та розпізнавальні. До породжувальних відносяться ті граматики, за допомогою яких можна побудувати будь-який вірний ланцюжок з вказівкою його структури та неможна побудувати жодного невірного ланцюжка.

Вперше, поняття породжувальної (генеративної) граматики було запропоновано А.Н. Чомські [4]. Розпізнавальна граматика – це граматика, що дозволяє встановити вірність довільно обраного ланцюжка, та, у разі якщо він вірний, з'ясувати його будову.

Лінгвістичне забезпечення інформаційних технологій розглядає побудову програмної системи за допомогою однієї або декількох (узгоджених між собою) мов програмування, кожна з яких заснована на *правилах* конкретної граматики [5].

До *формальних мов* відносяться, зокрема, штучні мови для спілкування оператора з комп'ютером (мови програмування) [6].

Мета дослідження. Створити систему понять, що формує парадигму реінжинірингу інформаційних технологій, яка дозволить працювати з багаторівневими програмними системами, складові частини яких написано різними мовами програмування.

Постановка задачі. Для завдання опису формальної мови необхідно, по-перше, вказати *алфавіт*, тобто сукупність об'єктів, що називаються символами (або літерами), кожен з яких можна відтворювати у необмеженій кількості примірників, та, по-друге, завдати формальну граматику мови, тобто перерахувати правила, за якими з символів вибудовуються їх послідовності, що належать до визначеної мови.

Будь-яка мова програмування являє собою безліч ланцюжків у деякому кінцевому алфавіті. У лінгвістиці замість терміну «алфавіт» використовується термін «словник» тому, що елементи, з яких він складений, являють собою словоформи [7]. У той же час, ланцюжок над словом розглядається як словосполучення або речення.

Зауважимо, що кожен символ алфавіту розглядається як нероздільний у тому сенсі, що при побудові ланцюжків ніколи не використовуються його графічні елементи (частини символів) та будь-яка послідовність символів однозначно являє деякий ланцюжок.

Практично ця вимога досягається, наприклад, шляхом встановлення «пробілу» (проміжку стандартної довжини) між символами. Цей «пробіл» перевищує довжину будь-якого з проміжків, що зустрічається всередині символів алфавіту.

Правила формальної граматики необхідно розглядати як «*продукції*» (правила виходу) – елементарні операції, які у разі застосування у визначеній послідовності до вихідного ланцюжка (*аксіоми*), породжують лише вірні ланцюжки. Сама ж послідовність правил, що використовується у процесі породження деякого ланцюжка, є її викладом. Визначена таким чином мова – являє собою формальну систему. Відомими прикладами формальних систем служать логічні обчислення (висловлювання, предикати), що відносяться до розділів математичної логіки.

Матеріали та результати досліджень. Породжувальною граматику або, коротко, граматику зветься впорядкований набір

$$G = \langle A, \Psi, \varepsilon, Z \rangle, \quad (1)$$

де $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – основний *термінальний* алфавіт;

Ψ – кінцевий допоміжний (*позатермінальний*) алфавіт, символи якого позначаються рядковими грецькими літерами;

ε ($\varepsilon \in \Psi$) – початковий (позатермінальний) символ;
 Z – кінцева система підстановок

$$Z = \{u_i \rightarrow v_i \mid i = 1, 2, \dots, k\}, \quad (2)$$

де u_i – ланцюжок;

$v_i \in \delta(v)$, де $\delta(v)$ – вільна напівгрупа над об'єднаним алфавітом Θ

$$\Theta = (A \cup \Psi). \quad (3)$$

Інакше кажучи, символи основного алфавіту A є елементарними одиницями мови, що визначається; символи алфавіту Ψ – метазмінні, що використовуються при викладі вірних ланцюжків (у природних мовах такими мета змінними є граматичні класи: іменник, дієслово тощо); ε – метазмінна аксіома з якої вибудовуються усі вірні ланцюжки (у природних мовах аксіомі відповідає граматичний клас «речення»); Z – схема граматики, що складається з продукцій (правила викладу – граматичні правила мови, що визначається).

Наприклад, породжувальною граматиною є граMATИКА

$$G_0 = \langle \{a, b, c\}, \{\alpha, \beta, \chi\}, \varepsilon, Z_0 \rangle, \quad (4)$$

причому Z_0 має систему правил

$$Z_0 = \begin{cases} \varepsilon \rightarrow abc, \\ \varepsilon \rightarrow b, \\ \varepsilon \rightarrow \alpha\alpha, \\ abc \rightarrow c. \end{cases} \quad (5)$$

Визначення мови $L(G)$, що завдана породжувальною граматиною G , пов'язане з поняттям «виклад».

Нехай x, y – ланцюжки, що належать до вільної напівгрупи $\delta(v)$. Ланцюжок y безпосередньо виводиться з ланцюжка x у граматиці G

$$x \underset{G}{\Rightarrow} y \text{ або } x \Rightarrow y \text{ (коли } G \text{ мається на увазі),} \quad (6)$$

якщо у схемі Z поданої граматики знайдеться продукція $u \rightarrow v$ така, що

$$\begin{cases} x = x_1 u x_2, \\ y = x_1 v x_2, \end{cases} \quad (7)$$

де $x_1, x_2 \in \mathcal{D}(v)$. Тобто ланцюжок y отримуємо як результат застосування до ланцюжка x продукції $u \rightarrow v \in Z$, що значить заміну у ланцюжку x виділеного входження лівої частини u поданої продукції її правою частиною v .

Наприклад, у граматиці G_0

$$b \varepsilon c \Rightarrow b \alpha \alpha c, \quad abcba \Rightarrow cba, \quad \dots \quad (8)$$

Ланцюжок y виводиться з ланцюжка x у граматиці G , $x \xRightarrow{*}_G y$ або $x \xRightarrow{*} y$, схоже з (6), якщо ланцюжки x, y співпадають або існує послідовність ланцюжків z_0, z_1, \dots, z_k така, що

$$z_0 = x, \quad z_k = y \quad \wedge \quad \forall i (1 \leq i \leq k) \quad z_{i-1} \Rightarrow z_i. \quad (9)$$

Послідовність ланцюжків $Q = (z_0, z_1, \dots, z_k)$ має назву «викладу» ланцюжка y з ланцюжка x у граматиці G . Наприклад, у граматиці G_0 $\varepsilon \xRightarrow{*} acc$, причому послідовність є викладом ланцюжка acc з ланцюжка ε

$$\langle \varepsilon \Rightarrow abc; abc \Rightarrow a \varepsilon c \mid b \rightarrow \varepsilon; a \varepsilon c \Rightarrow aabcc \mid \varepsilon \rightarrow abc; \\ aabcc \Rightarrow acc \mid abc \rightarrow c \rangle. \quad (10)$$

Слід додати, що на кожному кроці виклада, можна обрати будь-яку з продукцій, що може бути застосована у поточний момент.

А це означає, що послідовність застосування продукцій у граматиці довільна та будь-яку продукцію дозволено застосовувати після іншої, але у межах системи правил.

Таким чином, поняття породжувальної граматики докорінно відрізняється від поняття «нормальний алгоритм», у якому підстановки носять визначений характер та суворо виконуються у завчасно зазначеній послідовності.

Виклад $x \xrightarrow[G]{*} y$ зветься повним, якщо $y \in \delta(A)$, тобто ланцюжок y складається з термінальних символів. Будь-який повний виклад закінчується застосуванням продукцій, якщо їхні праві частини являють собою термінальні ланцюжки. Вказані продукції назовемо «кінцевими продукціями» поданої граматики.

Якщо $x \xrightarrow[G]{*} y$ та $y \notin \delta(A)$, причому у системі Z не існує правил, що застосовуються до ланцюжка y , то виклад ланцюжка y з ланцюжка x у граматиці G називається *тупиковим*. Наприклад: виклад, наведений у (10) є повним викладом у граматиці G_0 , acc – кінцева продукція граматики G_0 . А, наприклад, виклад

$$\langle aabcabc \Rightarrow a\epsilon abc \mid abc \rightarrow \epsilon; a\epsilon abc \Rightarrow a\epsilon c \mid abc \rightarrow c; \\ a\epsilon c \Rightarrow a\alpha\alpha c \mid \epsilon \rightarrow \alpha\alpha \rangle \quad (11)$$

є тупиковим викладом ланцюжка $a\alpha\alpha c$ з ланцюжка $aabcabc$ у граматиці G_0 .

Далі розглянемо як саме породжувальна граMATИКА $G = \langle A, \Psi, \epsilon, Z \rangle$ визначає мову, що відповідає їй. Ланцюжок $x \in \delta(A)$ буде вірним, якщо існує принаймні один повний виклад ланцюжка з аксіоми \mathcal{E} в граматиці G . Інакше кажучи, ланцюжок X вірний, якщо:

- 1) $x \in \delta(A)$ – ланцюжок X складається з термінальних символів;
- 2) $\mathcal{E} \xrightarrow[G]{*} x$ – існує виклад ланцюжка X з аксіоми \mathcal{E} .

Безліч усіх вірних ланцюжків у граматиці G створює мову $L(G)$, що породжується граMATИКОЮ G . Наприклад, граMATИКА G_0 породжує мову

$$L(G_0) = \{x^n yx^n \cup y^m xy^m \mid n, m = 0, 1, 2, \dots\}. \quad (12)$$

Отже, кожній граматиці $G = \langle A, \Psi, \epsilon, Z \rangle$ однозначно відповідає мова $L(G)$, що породжена цією граMATИКОЮ. Проте, ця відповідність не ізоморфна: та ж сама мова може породжуватись різноманітними граMATИКАМИ. Це дозволяє внести відношення еквівалентності на безлічі граматик.

Граматика G та G' – еквівалентні ($G \Leftrightarrow G'$), якщо $L(G) = L(G')$, тобто граматики G та G' породжують одну мову. Наприклад, граMATика

$$G_1 = \langle \{a, b, c\}, \{\varepsilon\}, \varepsilon, Z_1 \rangle, \quad (13)$$

схема якої має набір правил

$$Z_1 = \begin{cases} \varepsilon \rightarrow abc, \\ \varepsilon \rightarrow b, \\ \varepsilon \rightarrow c, \end{cases} \quad (14)$$

породжує мову $L(G_1)$, яка співпадає із мовою $L(G_0)$ та, відповідно, означає, що $G_0 \Leftrightarrow G_1$.

ВИСНОВКИ. Підсумовуючи викладений матеріал, зазначимо, що, породжувальні граматики можуть знаходити широке застосування щодо розгляду лінгвістичного забезпечення програмних систем.

Особливої важливості інструмент породжувальних граматик набирає у разі виконання необхідного реінжинірингу програмного коду, який написано різними мовами програмування.

Сформована у статті парадигма, з наукової точки зору, ляже в основу методології реінжинірингу програмних систем, а з практичної – стане у пригоді системним програмістам, які працюють із мультимовними надбудовами програмних систем, що набувають еволюційного розвитку із плином часу та вдосконалення в процесі використання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Генеративная лингвистика [Електронний ресурс] / В.П. Руднев // Словарь культуры XX века. – Режим доступу: http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Culture/Rudnev/Dict/_04.php
2. Logical Syntax and Semantics: Their Linguistic Relevance [Електронний ресурс] / Noam Chomsky // Language. – Vol. 31. – № 1. – P. 36-45. – Режим доступу до журн.: <https://chomsky.info/wp-content/uploads/195503-.pdf>
3. Three Models for the Description of Language [Електронний ресурс] / Noam Chomsky // IRE Transactions on Information Theory. – Ser., 1956. – Режим доступу до журн.: <https://chomsky.info/wp-content/uploads/195609-.pdf>
4. What is Generative Grammar? [Електронний ресурс] // wiseGEEK. – Режим доступу: <http://www.wisegeek.com/what-is-generative-grammar.htm>.

5. *Евристичний аналіз граматики [Електронний ресурс] / Сергій Горелов // Евристичний аналіз будь-якої мови. – Режим доступу: <http://www.grammcheck.org>*
6. *Глушков В.М. Алгебра. Языки. Программирование [Текст] / В.М. Глушков, Г.Е. Цейтлин, Е.Л. Юценко. – К.: Наук. думка, 1974. – 328 с.*
7. *Федоренко О.Ф. Основи лінгвістичних досліджень = Fundamentals of Linguistic Research [Текст]: Підручн. для вузів / О.Ф. Федоренко, С.М. Сухорольська, О.В. Руда. – Л.: Центр Львів. нац. ун-ту ім. І. Франка, 2009. – 296 с.*

Стаття надійшла до редакції 26.09.2017

**УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ІНТЕРАКТИВНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОРИГУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ
РОЗКРОЮ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ МЕТОД ІНТЕРАКТИВНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОРРЕКТИРОВКИ РАЦИОНАЛЬНОЙ
СХЕМЫ РАСКРОЯ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**IMPROVED METHOD OF INTERACTIVE DESIGN
AND ADJUSTMENTS OF THE RATIONAL SCHEME
OF PATTERNING FLAT GEOMETRIC OBJECTS**

В.І. ЧУПРИНКА, доктор техн.наук,
Г.Ю.ЗЕЛІНСЬКИЙ, Н.В. ЧУПРИНКА

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

В роботі розглядається удосконалений метод інтерактивного проектування і коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми заданих розмірів на плоскі геометричні об'єкти з різною конфігурацією зовнішнього контуру.

Цей метод проектування раціональних схем розкрою був реалізований в програмний продукт для інтерактивного проектування і коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми заданих розмірів на плоскі геометричні об'єкти з різною конфігурацією зовнішнього контуру.

Ключові слова: *щільне розміщення, схема розкрою, метод променя, метод відрізків, програмне забезпечення.*

В работе рассматривается усовершенствованный метод интерактивного проектирования и корректирования рациональных схем раскроя материалов прямоугольной формы заданных размеров на плоские геометрические объекты различной конфигурации внешнего контура.

Этот метод проектирования рациональных схем раскроя был реализован в программный продукт для интерактивного проектирования и корректирования рациональных схем раскроя материалов прямоугольной формы заданных размеров на плоские геометрические объекты различной конфигурации внешнего контура.

Ключевые слова: *плотное размещение, схема раскроя, метод луча, метод отрезков, программное обеспечение.*

An analysis of the existing methods of interactive design and correction of rational schemes for cutting flat geometric objects has been carried out.

© Чупринка В.І., Зелінський Г.Ю., Чупринка Н.В., 2017

This allowed to highlight the disadvantages of these methods and develop an improved method of interactive design and correction of rational schemes for the decomposition of flat geometric objects with different configurations of the external contour in a rectangular area of the given size. In this method, it is possible to distinguish three main stages: the preliminary check of the intersection of rectangles, which are described around an active flat geometric object and a flat geometric object that has already been placed; If these rectangles intersect, check the intersection of these flat geometric objects by the ray tracing method; If these flat geometric objects do not intersect by the ray tracing method, then an additional check of their intersection by the ray method.

The proposed method for designing dense layout schemes was implemented in a software product for interactive design and correction of rational schemes for the decomposition of dense combinations of flat geometric objects with different configurations of external contours in a rectangular area of a given size.

Keywords: *dense placement, cutting scheme, beam method, segment method, software.*

Вступ. Раціональні витрати матеріальних і енергетичних ресурсів, а також захист навколишнього середовища від забруднення повинні бути пріоритетними напрямками в розвитку економіки будь-якої країни.

Так при розкрої матеріалів необхідно зменшувати кількість відходів.

Автоматизоване проектування раціональних розкрійних схем матеріалів дозволить ефективно використовувати матеріали при розкрої, зменшити кількість відходів, що забруднюють навколишнє середовище, знизити собівартість виробів.

Тому завдання інтерактивної побудови та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів з різною конфігурацією зовнішніх контурів для прямокутної області Ω заданих розмірів є актуальним завданням.

Побудувати ефективні решітчасті (системні) схеми розкрою [1] в автоматичному режимі не завжди вдається.

Тому при розкрої матеріалів прямокутної форми заданих розмірів на плоскі геометричні об'єкти часто доводиться застосовувати несистемне розміщення деталей. Крім того бажано мати можливість коригувати побудовані розкрійні схеми в інтерактивному режимі.

Постановка завдання. Розробити математичне і програмне забезпечення для інтерактивної побудови і коригування раціональних схем щільного розміщення в прямокутній області Ω заданих розмірів для плоских геометричних об'єктів S_i ($i=1..k$) з різною конфігурацією зовнішніх контурів.

При інтерактивній побудові та коригуванні раціональних схем розміщення необхідним є виконання наступних технологічних вимог:

- плоскі геометричні об'єкти S_i ($i=1..k$) не повинні перетинати границю прямокутної області Ω , в якій вони розміщуються;
- плоскі геометричні об'єкти S_i ($i=1..k$) не повинні перетинатися один з іншим і між ними в схемі розміщення повинні бути технологічні зазори постійної величини Δ ;
- при розміщенні необхідно дотримати орієнтацію плоских геометричних об'єктів S_i ($i=1..k$) щодо їх початкового положення (кут повороту α_i і $\pi + \alpha_i$).

Для цього необхідно провести аналіз існуючих методів інтерактивного проектування та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів в прямокутній області та розробити удосконалений метод інтерактивного проектування та коригування раціональних схем щільного розміщення плоских геометричних об'єктів, що не має недоліків існуючих методів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Плоскі геометричні об'єкти в більшості випадків мають складну конфігурацію зовнішніх контурів і їх не можливо описати аналітично. Для їх представлення застосуємо кусково-лінійну апроксимацію.

При цій апроксимації плоскі геометричні об'єкти із заданою точністю апроксимації ε ми будемо представляти багатокутниками. Виберемо всередині плоского геометричного об'єкта S точку O (полюс), в яку помістимо початок прямокутної системи координат.

Тоді зовнішній контур цього об'єкту може бути представлений координатами вершин апроксимуючого багатокутника $S\{X_i, Y_i\}$, $i=1..n$. Так як плоскі геометричні об'єкти ми будемо апроксимувати багатокутниками, то далі ми будемо розглядати плоскі геометричні об'єкти як багатокутники.

При інтерактивній побудові раціональних схем розміщення нам потрібно контролювати взаємне положення активного плоского геометричного об'єкта з уже розміщеними об'єктами.

Алгоритм контролю взаємного положення плоских геометричних об'єктів повинен забезпечувати: не перетин плоского геометричного об'єкта, що розміщується, з уже розміщеними плоскими геометричними об'єктами. У роботах [2-3] розглядається алгоритм інтерактивної побудови схем розміщення з використанням методу трасування променя та методу кутів. Ці алгоритми мають істотний недолік при визначенні взаємного розміщення плоских геометричних об'єктів.

Вони основані на наступному твердженні [5]: два багатокутника не перетинаються, якщо жодна вершина першого багатокутника не знаходиться всередині другого багатокутника і жодна вершина другого багатокутника не знаходиться всередині першого багатокутника.

Це твердження справедливо в більшості випадків, але є винятки (рис.1 а).

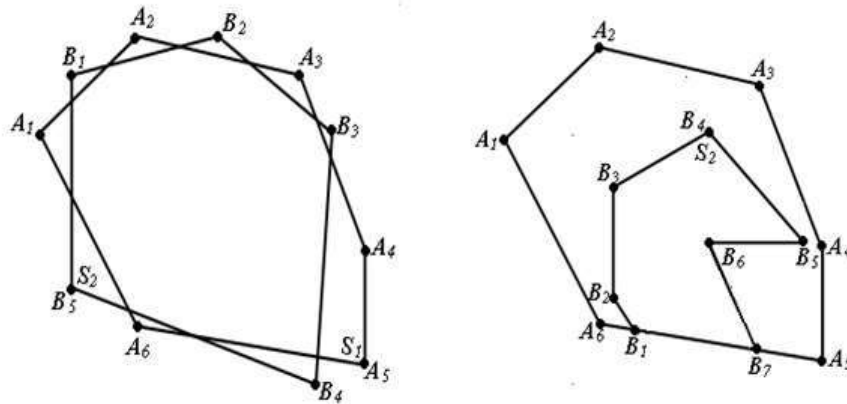


Рис. 1. Деякі випадки, коли методи трасування променю та відрізків:
а) метод трасування променю не працює;
б) метод відрізків не працює

В роботі [4] запропоновано для визначення взаємного не перетину двох плоских геометричних об'єктів використовувати метод відрізків. Він базується на наступному припущенні: якщо жодна сторона зовнішньої границі одного багатокутника не має точок перетину зі сторонами другого багатокутника, то ці багатокутники не перетинаються. Але є випадки, коли метод відрізків не працює.

Один з них представлений на рис. 1.б. Але метод трасування променю добре працює у випадках, коли не працює метод відрізків. У випадках, коли не працює метод трасування променю (рис. 1 а) добре працює метод відрізків.

Для виходу з ситуації, що склалася, пропонується наступний триступеневий алгоритм визначення взаємного розташування двох плоских геометричних об'єктів.

На першому етапі розглядається взаємне розташування прямокутників, що описані навколо цих плоских геометричних об'єктів і сторони яких паралельні осям системи координат. Очевидно:

- плоскі геометричні об'єкти не перетинаються, якщо прямокутники, описані навколо них, не перетинаються;
- для перетину плоских геометричних об'єктів необхідно, щоб прямокутники, описані навколо цих об'єктів, перетиналися. Але це не є достатньою умовою.

Визначимо умови перетину прямокутників, описаних навколо двох плоских геометричних об'єктів S_i і S_a , взаємне розташування котрих нам потрібно визначити (рис. 2).

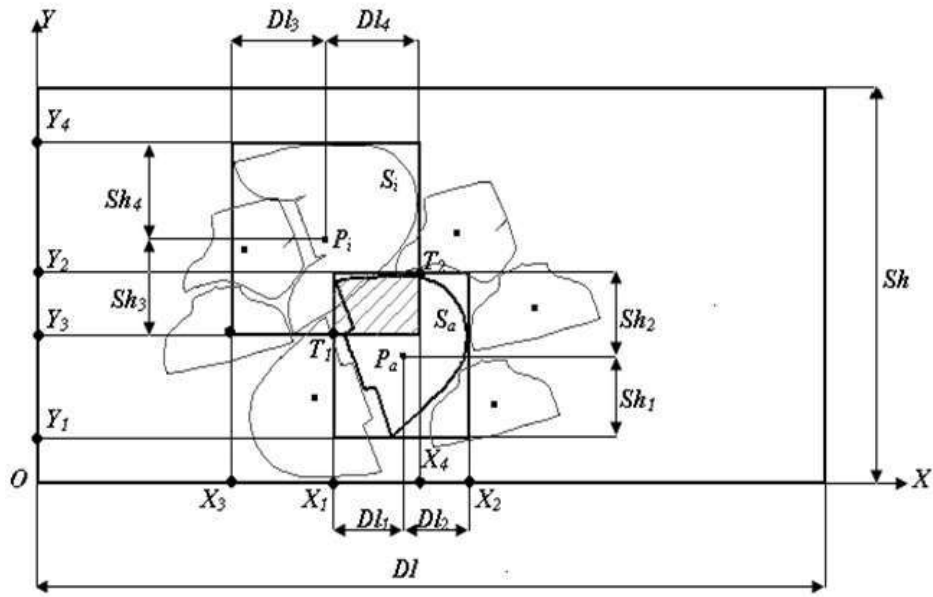


Рис. 2. Визначення взаємного розташування прямокутників, описаних навколо плоских геометричних об'єктів S_i і S_a

Якщо прямокутники, описані навколо плоских геометричних об'єктів S_i і S_a перетинаються, то вони утворюють спільний заштрихований прямокутник з нижнім лівим кутом в вершині $T_1(X_1, Y_3)$ і верхнім правим кутом в вершині $T_2(X_4, Y_2)$ (рис. 2). Очевидно, цей прямокутник існує тоді і тільки тоді, коли виконуються наступні умови:

$$\begin{cases} X_1 < X_4 \\ Y_3 < Y_2 \end{cases} \text{ або } \begin{cases} X_{p_a} - D_{l_1} < X_{p_i} + D_{l_4} \\ Y_{p_i} - Sh_3 < Y_{p_a} + Sh_4 \end{cases},$$

де

$$P_a(X_{p_a}, Y_{p_a}) \text{ и } P_i(X_{p_i}, Y_{p_i}). \quad (1)$$

Нехай плоскі геометричні об'єкти S_i і S_a представляються координатами вершин апроксимуючих багатокутників відповідно наступним чином $S_i(X_{ij}, Y_{ij}), j=1, 2..N_i$ і $S_a(X_{ak}, Y_{ak}), k=1, 2..N_a$. Тоді

$$\begin{aligned} X_1 &= \min \{X_{a_k}\} + X_{p_a} & Y_1 &= \min \{Y_{a_k}\} + Y_{p_a} \\ X_2 &= \max \{X_{a_k}\} + X_{p_a} & Y_2 &= \max \{Y_{a_k}\} + Y_{p_a}, \\ X_3 &= \min \{X_{ij}\} + X_{p_i} & Y_3 &= \min \{Y_{ij}\} + Y_{p_i} \\ X_4 &= \max \{X_{ij}\} + X_{p_i} & Y_4 &= \max \{Y_{ij}\} + Y_{p_i} \end{aligned}$$

де $k=1,2..Na$ і $j=1,2..Ni$

$$\begin{aligned} X_1 &= \max \{ \min \{ Xa_k \} + Xp_a, \min \{ X_{ij} \} + Xp_i \} \\ \text{Так як } X_4 &= \min \{ \max \{ Xa_k \} + Xp_a, \max \{ X_{ij} \} + Xp_i \}, \text{ то умову (1)} \\ Y_3 &= \max \{ \min \{ Ya_k \} + Yp_a, \min \{ Y_{ij} \} + Yp_i \} \\ Y_2 &= \min \{ \max \{ Ya_k \} + Yp_a, \max \{ Y_{ij} \} + Yp_i \} \end{aligned}$$

перетину двох описаних прямокутників навколо плоских геометричних об'єктів можна представити таким чином:

$$\begin{aligned} \max \{ \min \{ Xa_k \} + Xp_a, \min \{ X_{ij} \} + Xp_i \} &< \min \{ \max \{ Xa_k \} + Xp_a, \max \{ X_{ij} \} + Xp_i \} \\ \max \{ \min \{ Ya_k \} + Yp_a, \min \{ Y_{ij} \} + Yp_i \} &< \min \{ \max \{ Ya_k \} + Yp_a, \max \{ Y_{ij} \} + Yp_i \} \end{aligned} \quad (2)$$

У разі, якщо умова (2) виконана, то можливо що плоскі геометричні об'єкти S_i і S_a перетинаються.

Для перевірки перетину цих плоских геометричних об'єктів ми використовуємо метод трасування променю. Якщо метод трасування променю не підтвердив перетин плоских геометричних об'єктів S_i і S_a , то для уникнення випадку, представленого на рис.1.а, перевіримо перетин цих об'єктів за допомогою методу відрізків.

Для того, щоб не перевіряти, чи перетинається активний плоский геометричний об'єкт S_a з усіма вже розміщеними в прямокутній області Ω плоскими геометричними об'єктами S_i , виділимо область навколо полюса активного плоского геометричного об'єкта S_a у вигляді кола радіуса R , в яку потрапляють полюси всіх підозрілих на перетин плоских геометричних об'єктів S_i з активним плоским геометричним об'єктом S_a (рис. 3).

Плоскі геометричні об'єкти, полюси яких потрапили в коло радіуса R і з центром в полюсі активного плоского геометричного об'єкта S_a , будуть підозрілими на перетин з активним плоским геометричним об'єктом S_a . Для визначення величини радіуса визначимо радіус описаного кола навколо кожного з допустимих плоских геометричних об'єктів та знайдемо найбільший із них.

Очевидно, що

$$R_i = \frac{\sqrt{Dl_i^2 + Sh_i^2}}{2} = \frac{\sqrt{(\max \{ X_{ij} \} - \min \{ X_{ij} \})^2 + (\max \{ Y_{ij} \} - \min \{ Y_{ij} \})^2}}{2},$$

де $i=1,2..q$ і $j=1,2..Ni$. Тоді $R = \max \{ R_i \}$.

Аналітичний опис умов взаємного не перетину плоских геометричних об'єктів з границею прямокутної області Ω .

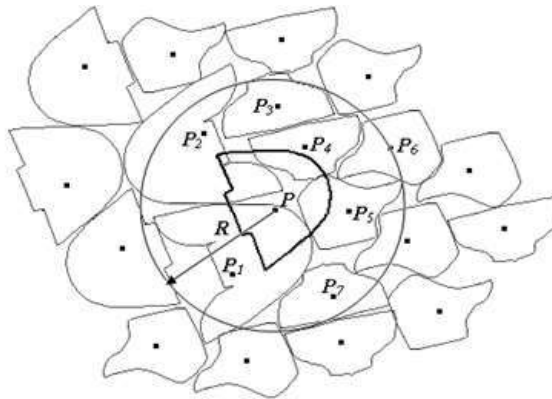


Рис. 3. Визначення зони, де можливі перетини вже розміщених плоских геометричних об'єктів з активним плоским геометричним об'єктом S_a

Прямокутну область Ω можна описати наступною системою нерівностей:

$$\Omega: \begin{cases} 0 \leq X \leq Dl \\ 0 \leq Y \leq Sh \end{cases}$$

Очевидно, що якщо полюс P_a активного плоского геометричного об'єкта S_m знаходиться всередині заштрихованого прямокутника (рис. 4), то цей об'єкт не буде виходити за межі прямокутної області.

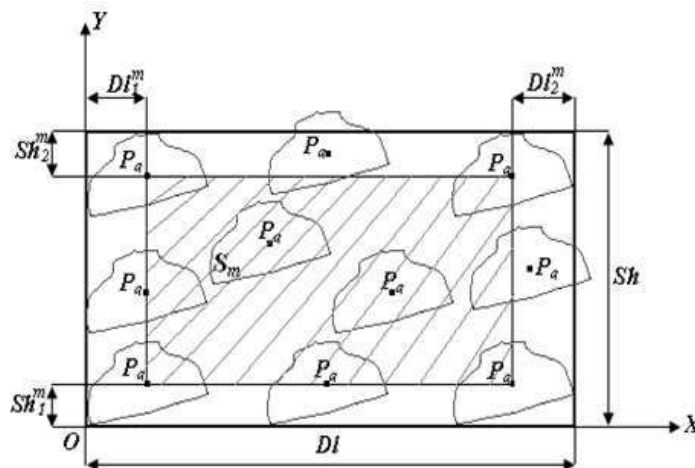


Рис. 4. Визначення розташування плоского геометричного об'єкта щодо прямокутної області Ω

Нехай координати полюса P_a визначаються як $P_a(X_p, Y_p)$. Тоді умови взаємного не перетину активного плоского геометричного об'єкта S_m з границею прямокутної області можна представити в такий спосіб (рис. 4):

$$\begin{cases} Dl_1^m \leq Xp_a \leq Dl - Dl_2^m \\ Sh_1^m \leq Yp_a \leq Sh - Sh_2^m \end{cases}, \quad \text{або} \quad \begin{cases} |\min\{X_{mj}\}| \leq Xp_a \leq Dl - |\max\{X_{mj}\}| \\ |\min\{Y_{mj}\}| \leq Yp_a \leq Sh - |\max\{Y_{mj}\}| \end{cases}.$$

Врахування між шаблонного містка Δ між плоскими геометричними об'єктами при інтерактивному проектуванні раціональної схеми розкрою відбувається за рахунок того, що замість плоских геометричних об'єктів ми розглядаємо образи цих об'єктів.

Образ плоского геометричного об'єкту представляє собою зовнішню еквідистанту до плоского геометричного об'єкту на відстані $\Delta/2$ [6].

Запропонований удосконалений метод інтерактивного проектування і коригування схем щільних суміщень плоских геометричних об'єктів був реалізований в програмний продукт.

Приклад спроектованої в автоматичному режимі схеми щільних суміщень плоских геометричних об'єктів у прямокутній області, після її інтерактивного коригування представлено на рис. 5.

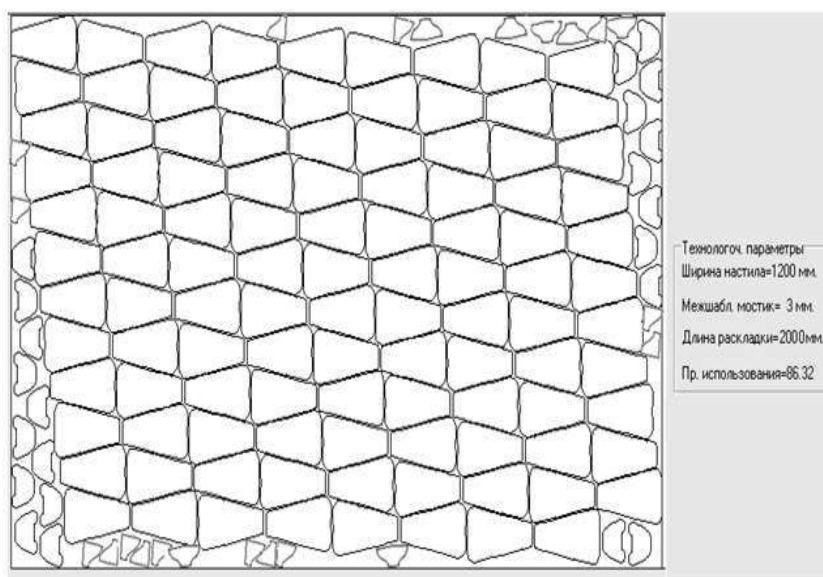


Рис. 5. Спроектвана в автоматичному режимі схема щільного суміщення плоских геометричних об'єктів після її інтерактивного коригування

Аналіз отриманих результатів розрахунків параметрів щільних суміщень плоских геометричних об'єктів в прямокутній області Ω довів ефективність інтерактивного коригування схем щільного суміщення, спроектованих в автоматичному режимі.

Висновки. В результаті аналізу недоліків існуючих алгоритмів інтерактивного проектування і коригування схем щільних суміщень плоских геометричних об'єктів був запропонований удосконалений метод інтерактивного проектування і коригування схем щільних суміщень плоских геометричних об'єктів.

Це дозволило розробити програмне забезпечення для інтерактивного проектування і коригування раціональних схем розкрою матеріалів прямокутної форми для плоских геометричних об'єктів довільної форми зовнішнього контуру.

ЛІТЕРАТУРА

1. Chuprynka V.I. Method of construction of lattice pilings of two plane geometric object with different configurations of outer contours / V.I. Chuprynka, G.Y. Zelinsky, N.V. Chuprynka // *The scientific heritage*. – 2017. – № 8. – Vol. 1. – P. 100-109.
2. Чупринка В.І. Інтерактивна побудова схем розкрою / В.І. Чупринка, О.Т. Волошин, О.В. Комарницька // *Вісник ДАЛПУ*. – № 1. – 2000. – С. 86-89.
3. Чупринка В.І. Інтерактивне коригування розкрійних схем, що побудовані в автоматичному режимі / В.І. Чупринка, О.З. Коліско // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2006. – № 1. – Ч. 1. – С. 76-79.
4. Чупринка В.І. Алгоритм інтерактивної побудови та коригування схем розкрою / В.І. Чупринка, О.В. Чебанюк // *Вісник КНУТД*. – 2007. – № 1. – С. 31-35.
5. Майк Ласло. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++ / Ласло Майк. – М.: Бином. – 1997. – 302 с.
6. Чупринка В.І. Удосконалення методу побудови еквідистанти для плоского геометричного об'єкту довільної форми / В.І. Чупринка, Г.Ю. Зелінський, Н.В. Чупринка // *Вісник КНУТД*. – 2016. – № 4. – С. 34-41.

Стаття надійшла до редакції 19.09.2017

ДО ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ
НЕНАДІЙНОЇ МЕРЕЖІ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
К ПРОБЛЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ
НЕНАДЕЖНЫХ СЕТЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ON A PROBLEM OF MODELING AND OPTIMIZATION
OF UNRELIABLE QUEUEING NETWORK

М.Я. ПОСТАН, докт.техн.наук

Одесский национальный морской университет, Украина

В роботі описано результати дослідження проблеми моделювання та оптимізації ненадійної мережі чергування. Наведена математична модель абсолютно надійної системи управління двомісними нескінченними каналами. В результаті виконанного дослідження формалізована та сформована пріоритетна задача оптимізації.

Ключові слова: ненадійна мережа черг, моделювання та оптимізація, мережа Джексона, функція розподілу життєвого періоду.

В работе описаны результаты исследования проблемы моделирования и оптимизации ненадежной сети дежурство. Приведена математическая модель абсолютно надежной системы управления двухместными бесконечными каналами. В результате выполнения исследования формализована и сформирована пріоритетная задача оптимизации.

Ключевые слова: ненадежная сеть очередей, моделирование и оптимизация, сеть Джексона, функция распределения жизненного периода.

The results of research a problem of modeling and optimization of unreliable queueing network are described in this state. An absolutely reliable two-phase infinite channels queueing system is performed as an mathematical model. The corresponding optimization problem is formalized in conclusion.

Keywords: unreliable queueing network, modeling and optimization, Jacksonian network, life-period distribution function.

Introduction. While considering the problem of computer or data communication networks' design the restricted reliability of some network's elements must be taken into account.

In spite of very important role of this factor in projecting of high-performance networks it did almost not enlighten in the special literature [1 ; 2].

Goal of the work. To solve this problem we represent the real computer communication network as a Jacksonian queueing network [1; 2]. It is assumed that the failures of the network as a whole may occur.

Any failure provokes the simultaneous interruption of service (data processing) at all nodes and stopping of arrival of new information messages (or customers) from the outside.

Basis of material. The process of life-periods and repair-periods changing for the network is described by an alternating renewal process and after repair completion the service and arrival processes are resumed.

It is assumed also that at moment of a failure appearance, with the probability ω no one message (customer) leaves the network and with the additional probability all of the messages being at this moment in the network are lost.

Let the life-period distribution function (d.f.) be exponential with parameter a and repair-period d.f. is denoted $B(t)$.

Let us denote

$$p(k_1, \dots, k_N) = p(\vec{k}), \vec{k} \geq \vec{0}, \quad (1)$$

where k_n is number of messages at the n th node of network, the stationary state-probabilities of unreliable queueing network described above (N is number of nodes).

It is shown that probabilistic distribution (1) may be expressed through the corresponding state-probabilities $q(\vec{k}; t)$ of the absolutely reliable Jacksonian network (in the transient case) by the relation

$$[1 + a(1 - \omega)\tau]p(\vec{k}) = a(1 - \omega) \int_0^{\infty} e^{-a(1 - \omega)t} q(\vec{k}; t) dt, \quad (2)$$

where probabilities $q(\vec{k}; t)$ are calculated under initial conditions

$$q(\vec{k}; 0) = \delta_{0, k_1 + \dots + k_N} \quad (3)$$

(δ_{0k} is the Kronecker delta);

$$\tau = \int_0^{\infty} (1 - B(u)) du < \infty.$$

Using the relation (2), for open queueing network with infinite number of channels at each node and for closed queueing network without waiting of service beginning the stationary distribution (1) may be found in the closed form.

For example, for absolutely reliable two-phase infinite channels queueing system, from the results of works [1; 3], it follows that (under conditions (3))

$$\begin{aligned}
 Q(x_1, x_2, t) &\equiv \sum_{k_1=0}^{\infty} \sum_{k_2=0}^{\infty} q(k_1, k_2, t) x_1^{k_1} x_2^{k_2} = \\
 &= \exp\left\{-\frac{\lambda}{\mu_1}(1-x_1)(1-e^{-\mu_1 t}) - \lambda(1-x_2)[(1-e^{-\mu_2 t})/\mu_2 - \right. \\
 &\quad \left. -(e^{-\mu_2 t} - e^{-\mu_1 t})/(\mu_1 - \mu_2)]\right\},
 \end{aligned} \tag{4}$$

where λ is rate of the Poisson input flow of messages at the first phase, $1/\mu_1$ and $1/\mu_2$ are the mean processing times of messages at the first and second phases correspondingly.

Therefore, from (2), (4) we find

$$\begin{aligned}
 P(x_1, x_2) &\equiv \sum_{k_1=0}^{\infty} \sum_{k_2=0}^{\infty} p(k_1, k_2) x_1^{k_1} x_2^{k_2} = \\
 &= a(1-\omega) \int_0^{\infty} Q(x_1, x_2, t) e^{-a(1-\omega)t} dt / [1 + a(1-\omega)\tau].
 \end{aligned}$$

In the general case, for finding of probabilities (1) the simple recurrent algorithm may be applied [4].

Conclusions. A special particular case $\omega = 1$ is closely studied. In this case some optimization problems are formulated and solved under supposition that $\mu_n = W_n / \beta_n$, where W_n is the processing rate at the n th node, β_n is the mean 'length' of a message.

For example, the corresponding optimization problem may be formulated by the following way: to find out the rates of information processing W_n of all nodes with the aim to minimize the mean square of deviation of time-intervals of arbitrary message from the given value under some constraints [5].

REFERENCES

1. Kleinrock L. *Queueing Systems / L. Kleinrock // Vol. II: Computer Applications.* – N.Y.: J. Wiley, 1976.
2. Башарин Г.П. *Анализ очередей в вычислительных сетях / П. Башарин, П.П. Бочаров, Я.А. Коган.* – М.: Наука, 1989. – 336 с.
3. Постан М.Я. *О потоке обслуженных требований в бесконечноканальных системах массового обслуживания в переходном режиме / М.Я. Постан // Проблемы передачи информации.* – 1977. – Т. XIII. – Вып. 4. – С. 89-95.
4. Ивченко Г.И. *Теория массового обслуживания / Г.И. Ивченко, В.А. Капитанов.* – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.
5. Постан М. *On a Problem of Unreliable Data Processing Network Modeling / М. Постан, H.Morales // System Analysis, Modeling, Simulation, 1995.* – V. 18-19. – P. 583-586.

Стаття надійшла до редакції 06.09.2017

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ХВИЛЬ
НА ПОВЕРХНІ ПЛІВКИ РІДИНИ, ЩО СТІКАЄ**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН
НА ПОВЕРХНОСТИ СТЕКАЮЩЕЙ ПЛЁНКИ ЖИДКОСТИ**

**MATHEMATICAL DESIGN OF NONLINEAR WAVES
ON SURFACE OF FLOWING DOWN TAPE OF LIQUID**

В.Х. КИРИЛЛОВ¹, докт.техн.наук,
А.К. ШИРШКОВ²,

¹Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина

²Одесский национальный морской университет, Украина

Наведено результати проведеного математичного моделювання нелінійних хвиль на поверхні плівки рідини, що стікає, за допомогою застосування програмного комплексу Matlab. Описано рівняння прикордонного шару, виділений оптимальний хвильовий режим, при якому витрата рідини має максимальне значення.

Ключові слова: математичні моделювання нелінійних хвиль, плівкова течія, нелінійне хвилеутворення.

Приведены результаты проведенного математического моделирования нелинейных волн на поверхности стекающей пленки жидкости с помощью применения программного комплекса Matlab. Описаны уравнения пограничного слоя, выделен оптимальный волновой режим, при котором расход жидкости имеет максимальное значение.

Ключевые слова: математическое моделирование нелинейных волн, пленочное течение, нелинейное волнообразование.

The paper includes results of the mathematical modeling of nonlinear waves on the surface of a flowing liquid film are presented using the Matlab software package. The equations of the boundary layer are described, the optimum wave regime is selected, at which the liquid flow rate has the maximum value.

Keywords: mathematical modeling of nonlinear waves, film flow, nonlinear wave formation.

Введение. Математическое моделирование является в настоящее время одним из самых актуальных направлений в научных исследованиях.

Выбор тех или иных математических моделей при описании и исследовании физических процессов и объектов зависит от их особенностей и характеристик.

Актуальность. Исследование поведения нелинейных волн на поверхности стекающей пленки жидкости путем организации экспериментов на базе проведения математического моделирования является актуальной задачей для современной науки, в частности, в области гидродинамики.

Цель работы. Применение программного комплекса Matlab и аппарата математического моделирования для исследования поведения нелинейных волн на поверхности стекающей пленки жидкости.

Основной материал. Течение тонкого слоя вязкой жидкости по наклонной поверхности (рис.1) описывается уравнениями пограничного слоя [1; 2] (1) и (2).

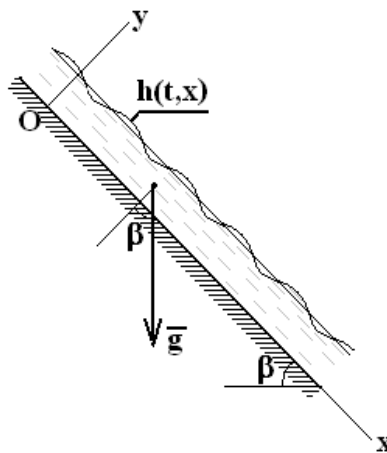


Рис. 1. Схема плёночного течения

Уравнения движения

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + g \sin \beta \quad (1)$$
$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g \cos \beta = 0$$

Уравнение неразрывности

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

Граничные условия при $y = h(t, x)$ имеют вид

$$v = \frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x}; \quad p + \sigma \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = p_0; \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

На наклонной поверхности при $y = 0$ имеет место условие прилипания

$$u = v = 0 \quad (4)$$

Уравнения (1)-(2) и граничные условия (3)-(4) после соответствующих преобразований [3] сводятся к двум дифференциальным уравнениям относительно неизвестных функций $q(t, x) = \int_0^h u dy$ – расход жидкости и $h = h(t, x)$ – локальная толщина плёнки

$$h^2 \frac{\partial q}{\partial t} + 2,4qh \frac{\partial q}{\partial x} - 1,2q^2 \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\sigma}{\rho} h^3 \frac{\partial^3 h}{\partial x^3} - 3\nu q - g h^3 \left(\frac{\partial h}{\partial x} \cos \beta - \sin \beta \right), \quad (5)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0. \quad (6)$$

Приводя обезразмеривание данной системы (5)-(6) для стационарных волн, имеем $h(\xi) = h(x - ct)$, $q(\xi) = q(x - ct)$.

Для профиля волны $H = H(x_1)$ имеем следующее дифференциальное уравнение [4], содержащее три параметра Δ , D и φ

$$H''' + \frac{\Delta}{H} \left[6 \frac{(1-D)^2}{H^2} - D^2 - \varphi H \right] H' + \frac{H^3 - DH + D - 1}{H^3} = 0. \quad (7)$$

Выделим оптимальный волновой режим, при котором расход жидкости имеет максимальное значение (именно этот режим наблюдается при эксперименте).

В результате задача математического моделирования нелинейных волнообразований сводится к задаче Коши при условии периодичности (λ – длина волны)

$$H(0) = H(\lambda), \quad H'(0) = H'(\lambda), \quad H''(0) = H''(\lambda). \quad (8)$$

Начальная точка $\xi = 0$ выбирается в соответствии с вершиной волны при $\xi = 0$, $H'(0) = 0$.

Дифференциальное уравнение (7) сводится к системе трёх уравнений первого порядка, численное решение которой ищется методом Рунге-Кутты (решатель ode45 системы компьютерной математики Mat Lab).

Для выявления периодического решения проводится вычислительный эксперимент.

Неизвестные величины $H(0)$, $H''(0)$ подбираются так, чтобы невязки $H(0) - H(\lambda)$, $H'(0) - H'(\lambda)$, $H''(0) - H''(\lambda)$ достигали наименьших значений.

В качестве начального приближения использовались Δ и $D > 3$ для положительного солитона при $\lambda = \infty$ [3]. Затем решение продолжается в сторону меньших λ .

Результаты численных экспериментов представлены на рисунках 2-5 для формы свободной поверхности $H = H(\xi)$

$$\text{I. } \beta = 90^\circ, \quad \gamma = 4868,1, \quad \varphi = 0$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= 14.9517, & D &= 7.31, & \Delta &= 0.06 \\ H(0) &= 2.98971, & H'(0) &= 0, & H''(0) &= -0,404 \\ H(\lambda) &= 2.9903, & H'(\lambda) &= 0,0338, & H''(\lambda) &= -0,455 \\ H_{\min} &= 0.7001, & \lambda &= 21,3497 \end{aligned}$$

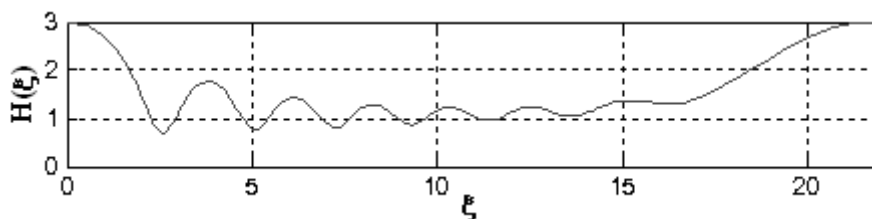


Рис. 2. Угол наклона поверхности 90°

$$\text{II. } \beta = 60^\circ, \quad \gamma = 5107.2, \quad \varphi = 1.2573$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= 14.9517, & D &= 7.31, & \Delta &= 0.059 \\ H(0) &= 2.8977, & H'(0) &= 0, & H''(0) &= -0,4 \\ H(\lambda) &= 2.8982, & H'(\lambda) &= 0,0214, & H''(\lambda) &= -0,4416 \\ H_{\min} &= 0.7129, & \lambda &= 16,9426 \end{aligned}$$

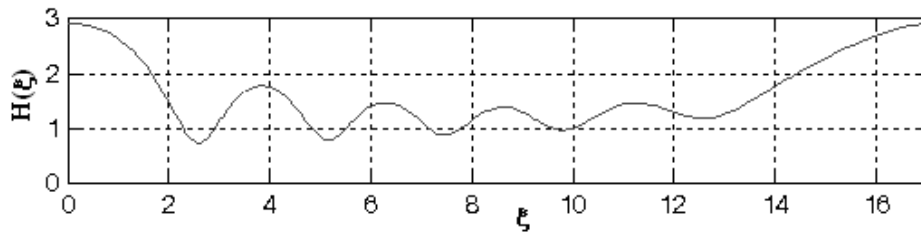


Рис. 3. Угол наклона поверхности 60°

III. $\beta = 45^{\circ}$, $\gamma = 5464.3$, $\varphi = 2.1778$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= 14.9517, & D &= 7.31, & \Delta &= 0.0577 \\ H(0) &= 2.6166, & H'(0) &= 0, & H''(0) &= -0.4009 \\ H(\lambda) &= 2.6125, & H'(\lambda) &= -0.0173, & H''(\lambda) &= -0.6474 \\ H_{\min} &= 0.8384, & \lambda &= 13.949 \end{aligned}$$

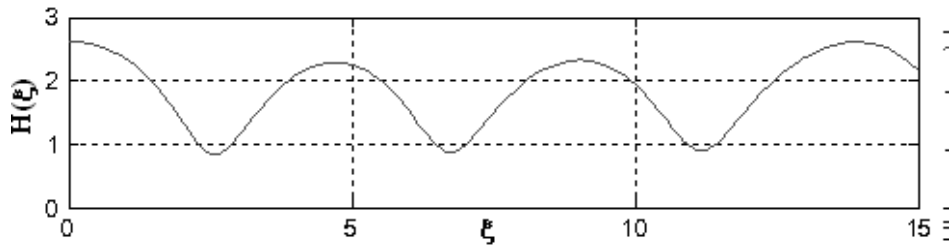


Рис. 4. Угол наклона поверхности 45°

IV. $\beta = 30^{\circ}$, $\gamma = 6133.4$, $\varphi = 3.772$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= 14.9517, & D &= 7.31, & \Delta &= 0.0556 \\ H(0) &= 2.5491, & H'(0) &= 0, & H''(0) &= -0.5 \\ H(\lambda) &= 2.5142, & H'(\lambda) &= 0.0049, & H''(\lambda) &= -0.51 \\ H_{\min} &= 0.808, & \lambda &= 8.9612 \end{aligned}$$

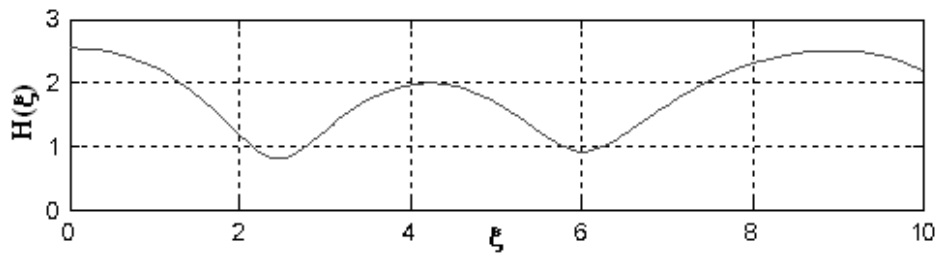


Рис. 5. Угол наклона поверхности 30°

Выводы. Из рисунков 1-5 видно, что нелинейные волнообразования имеют солитонный характер при больших углах наклона, при малых углах наклона ($\beta < 45^\circ$) нелинейные волнообразования имеют форму катящихся волн большой амплитуды.

При проектировании плёночных теплообменных аппаратов необходимо иметь в виду, что малые углы наклона поверхности могут приводить к интенсивному каплеуносу жидкости из рабочей зоны аппарата и неустойчивости плёнки жидкости с образованием осушённой части рабочей поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллов В.Х. *Гидродинамика и теплообмен в двухфазных потоках плёночных аппаратов для холодильной техники: Автореф. докт. дис. / В.Х. Кириллов. – Одесса, 1994.*
2. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1973. – 848 с.*
3. Кириллов В.Х. *Компьютерная математика в среде Math. Теория и практика / В.Х. Кириллов, А.К. Шириков. – Одесса: Изд-во ВМВ. 2015. – 312 с.*
4. Кириллов В.Х. *Компьютерное моделирование физических и технологических процессов. Теория, алгоритмы, программы: Учебн. пособие / В.Х. Кириллов, В.В. Зуб, А.С. Титлов, А.К. Шириков. – Одесса: Изд-во ВМВ, 2016. – 346 с.*

Стаття надійшла до редакції 18.09.2017

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ДИХАННЯ

MATHEMATICAL MODEL OF THE RESPIRATORY SYSTEM

Р.К. МАМЕДОВ, докт.техн.наук, **Е.К. РАГИМОВА**, канд.техн.наук
*Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности, Азербайджан*

Моделювання органів і структур людського організму, зокрема розробка математичної моделі газообміну дихальної системи, дає можливість передбачити критичні ситуації, з'ясувати механізми формування патології. Це в свою чергу розширює сферу застосування діагностичних методів і пристроїв і є передумовою для створення автоматизованих засобів діагностики.

Ключові слова: дихальний Хемостат, газообмін дихальної системи, математична модель, аналогова модель.

Моделирование органов и структур человеческого организма, в частности разработка математической модели газообмена дыхательной системы, дает возможность предсказать критические ситуации, выяснить механизмы формирования патологии. Это в свою очередь расширяет сферу применения диагностических методов и устройств и является предпосылкой для создания автоматизированных средств диагностики.

Ключевые слова: дыхательный хемостат, газообмен дыхательной системы, математическая модель, аналоговая модель.

Modeling of organs and structures of the human body, in particular, the development of a mathematical model of gas exchange of the respiratory system, makes it possible to predict critical situations, to clarify the mechanisms of pathology formation. This, in turn, expands the scope of application of diagnostic methods and devices and is a prerequisite for the creation of automated diagnostic tools.

Keywords: respiratory hemostat, gas exchange of the respiratory system, mathematical model, analog model.

Актуальность. Математическая модель биообъектов и систем даёт значительно больше информации о биомеханике биологического объекта, чем можно получить современными средствами измерений.

Организм является физико-химической средой, физиологические параметры которой (температура, содержание воды, кислорода в крови и пр.) должны поддерживаться в достаточно узком диапазоне значений.

Поддержание постоянства уровней веществ означает сохранение внутренних условий, стабильность внутренней среды организма, т.е. гомеостаз.

Регуляторные механизмы живых организмов часто рассматривают в терминах теории управления [1].

Так, общая схема механизма регулирования темпа поступления кислорода в ткани будет выглядеть следующим образом (рис.1):

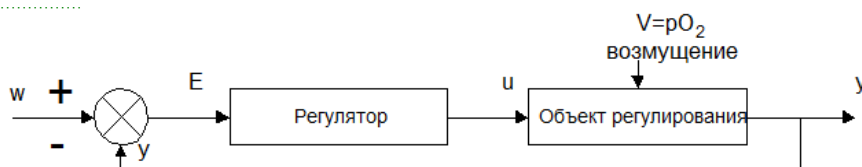


Рис. 1. Общая схема механизма регулирования темпа поступления кислорода в ткани

Анализ и постановка задачи. Орган (объект регулирования) потребует кислород с темпом u , а целью регулирования является обеспечение поступления кислорода с тем же темпом (выходная величина) y .

Сигнал рассогласования поступает на вход регулятора, который вырабатывает управляющий сигнал $E = w - y$, поступающий на вход объекта регулирования, подверженный внешнему возмущающему воздействию $v = pO_2$ (градиент напряжения кислорода между тканями и артериальной кровью).

Дыхательный хемостат представляет собой систему регуляций, предназначенную для поддержания постоянства напряжения

- углекислого газа (pCO_2);
- концентрации водородных ионов (H^+);
- напряжения кислорода (pO_2) в артериальной крови при наличии

некоторых возмущений.

Характер изменения вентиляции легких при изменении содержания CO_2 и O_2 в крови свидетельствует о существовании обратной связи в системе управления.

Известно, что если напряжение углекислого газа в крови при физической нагрузке или при вдыхании воздуха с высокой концентрацией CO_2 , поднимается выше «нормального» уровня, то частота дыхания (вентиляция) возрастает и в результате этой гипервентиляции напряжение CO_2 в крови вновь понижается.

Наоборот, если при гипервентиляции напряжение CO_2 в крови падает ниже нормального уровня, то это приводит к замедлению дыхания, вследствие чего напряжение CO_2 в крови вновь повышается.

Решение задачи. В схеме дыхательного хемостата, по Ф. Гродинзу (1966) [2], рассматриваются три регулируемые величины: концентрация O_2 , CO_2 , H^+ .

В нем имеются два блока: управляющая и управляемые системы (рис. 2).

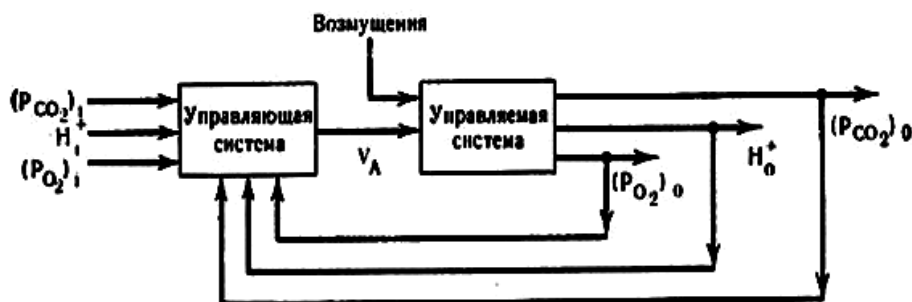


Рис. 2. Схема дыхательного хемостата по Ф. Гродинзу

На вход управляющей системы поступают три командных сигнала. За выходной сигнал принимается альвеолярная вентиляция V_A .

Этот управляющий сигнал поступает на вход управляемой системы (легочной и тканевой резервуары), имеющей три выхода – три управляемые переменные:

- напряжение кислорода (pO_2);
- углекислого газа (pCO_2);
- концентрация водородных ионов (H^+) в артериальной крови.

Показатели химического состава артериальной крови поступают на вход управляющей системы в качестве сигналов обратной связи.

Возмущающими сигналами могут стать повышение содержания CO_2 или недостаток O_2 во вдыхаемом воздухе.

Управляющая система начинается хеморецепторами, расположенными в различных частях организма.

Нервные импульсы поступают в дыхательный центр по афферентным центростремительным путям.

В дыхательном центре формируются командные сигналы, поступающие к эффекторам – дыхательным мышцам.

В результате этого возникают изменения в альвеолярной вентиляции.

В управляемой системе также участвуют несколько процессов и подсистем:

- процесс диффузии газов в легких;
- перенос газов кровью;
- газообмен в тканях.

Рассмотрим управляемую систему газообмена дыхательной системы (рис. 3). Система состоит из двух резервуаров постоянного объема, связанных циркулирующей кровью.

В каждом из резервуаров может происходить газообмен с кровью за счет диффузии через мембрану.

Углекислый газ покидает тканевый резервуар со скоростью, соответствующей скорости образования CO_2 в процессе обмена веществ.

В лёгочный резервуар поступает газ произвольного состава со скоростью, соответствующей альвеолярной вентиляции [1; 2].

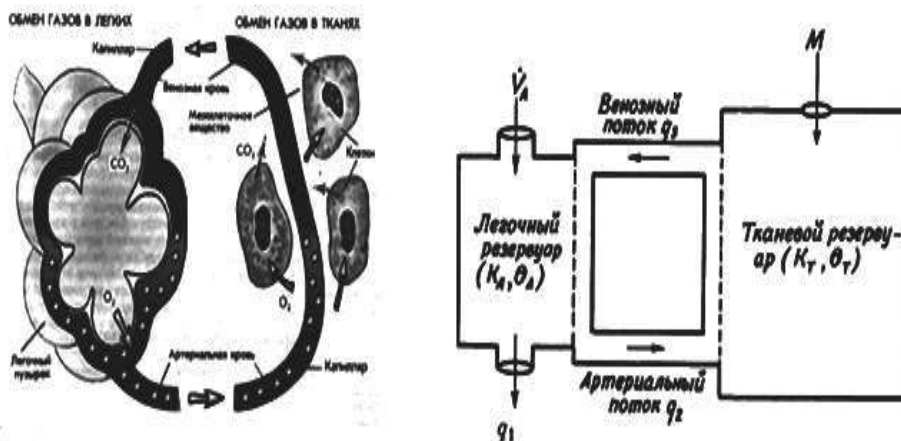


Рис. 3. Биофизическая модель регуляции обмена углекислым газом между лёгкими, кровеносной системой и тканями

Для получения уравнений, описывающих динамическое поведение такой системы, начнем с лёгочного (или альвеолярного) резервуара и запишем уравнение непрерывности для углекислого газа, утверждающее, что скорость концентрации CO_2 в альвеолярном газе равна частному от деления разности между скоростями поступления и вымывания углекислого газа (всеми способами) на объем резервуара K_A .

Тогда математическую модель скорости концентрации CO_2 в легких и тканях можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_A}{dt} &= \frac{1}{K_A} (V_A'F + q_3 - q_1 - q_2) \\ \frac{d\theta_T}{dt} &= \frac{1}{K_T} (M + q_2 - q_3) \end{aligned} \quad (1)$$

где θ_A – скорость концентрации CO_2 в альвеолярном газе;
 θ_T – скорость концентрации CO_2 в тканевом резервуаре;
 q_1 – скорость удаления CO_2 из легких с выдыхаемым воздухом;

q_2 – скорость удаления CO_2 из легких с артериальной кровью;
 q_3 – скорость поступления CO_2 в легочный резервуар с венозной кровью;
 K_A и K_T – постоянные объемы легочного и тканевого резервуаров соответственно;
 V'_A – скорость вентиляции CO_2 во вдыхаемом воздухе;
 Q – скорость вентиляции CO_2 в выдыхаемом воздухе;
 F – концентрация CO_2 во вдыхаемом воздухе;
 $V'_A F$ – скорость поступления CO_2 в легкие с вдыхаемым воздухом;
 M – скорость поступления CO_2 в тканевый резервуар, образующаясь в процессе обмена.

Согласно дифференциальному уравнению (1) построим аналоговую модель газообмена дыхательной системы (рис. 4)

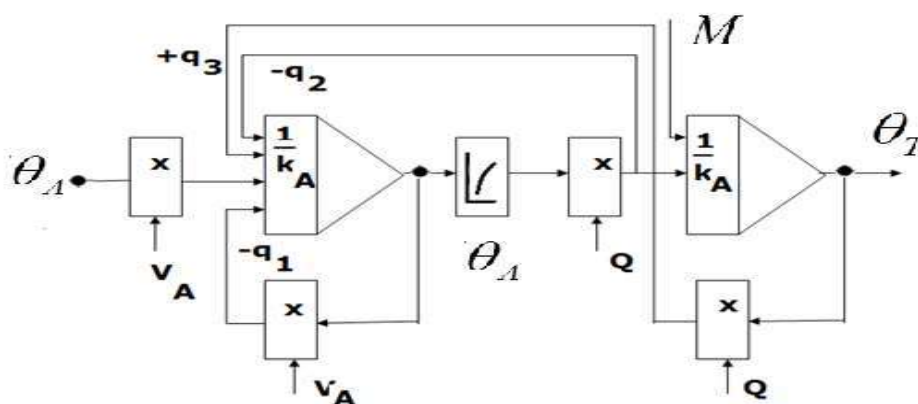


Рис. 4. Аналоговая модель газообмена дыхательной системы

Если C – минутный объем сердца; R и S – постоянные, связанные с характеристиками процесса поглощения CO_2 ; J_A , J_T – концентрации CO_2 в легочном и тканевом резервуарах, тогда соотношения, выражающие q_1 , q_2 и q_3 через J_A и J_T и различные другие параметры, можно найти из условий равновесия для потоков CO_2

$$q_1 = J_A \nu u' A, \quad q_2 = CRJ_A + CS, \quad q_3 = J_T C. \quad (2)$$

Тогда график скорости концентрации CO_2 в альвеолярном газе и в тканевом резервуаре в зависимости от времени согласно формуле Гродинца (1) будет выглядеть следующим образом (рис. 5)

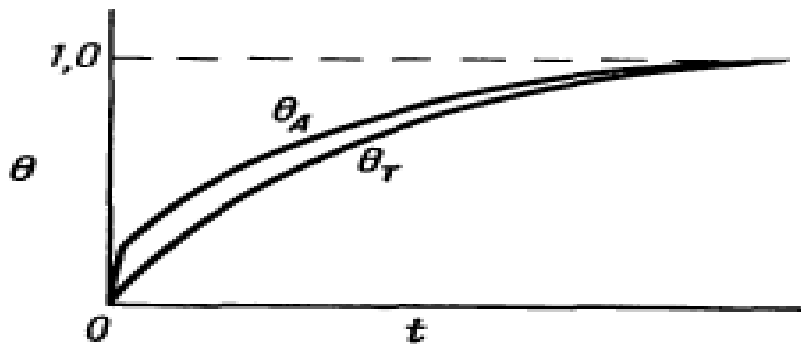


Рис. 5. График скорости концентрации CO_2 в альвеолярном газе и в тканевом резервуаре в зависимости от времени

Выводы. Предложенная аналоговая модель позволяет исследовать дыхательную систему в режиме динамики и определить основные ее параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветкова О.Л. Теория автоматического управления / О.Л. Цветкова. – М.: Диект-медиа, 2016. – 207 с.
2. Гродинз Ф. Теория регулирования и биологические системы / Ф. Гродинз. – М.: Мир, 1966. – 254 с.

Стаття надійшла до редакції 28.09.2017

**ПОДІЄВО-ОРІЄНТОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СКЛАДНИХ
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

**СОБЫТИЙНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЛОЖНЫХ
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**EVENT ORIENTED MODELING RESTORING OPERABILITY
OF LARGE-SCALE SOCIO-TECHNICAL SYSTEMS**

В.Д. БОЙКО, канд.техн.наук

Одесский национальный морской университет, Украина

Запропоновано подієво-орієнтовану чотирикомпонентну модель для аналізу ефективності процесу діагностики несправностей. Виконано моделювання процесу діагностики та відновлення складних організаційно-технічних систем для сліпих і спрямованих стратегій пошуку несправностей. Запропоновано критерії доцільності впровадження систем діагностики і пошуку несправностей в залежності від діагностичних систем і контексту використання.

Ключові слова: *складні соціально-технічні системи, подієве моделювання, управління ризиками.*

Предложена событийно-ориентированная четырехкомпонентная модель для анализа эффективности процесса диагностики неисправностей. Выполнено моделирование процесса диагностики и восстановления сложных организационно-технических систем для слепых и направленных стратегий поиска неисправностей. Предложены критерии целесообразности внедрения систем диагностики и поиска неисправностей в зависимости от диагностируемых систем и контекста использования.

Ключевые слова: *сложные социально-технические системы, событийное моделирование, управление рисками.*

This paper introduces an event-oriented four-component model for analyzing the efficiency of the fault diagnosis process. The simulation of the process of diagnostics and recovery of complex socio-technical systems allows for modeling either blind, either directed troubleshooting strategies.

Also paper introduces criteria for the appropriateness of the introduction of diagnostic and troubleshooting systems with relating to diagnosing systems and the context of their use.

Keywords: *complex socio-technical systems, event modeling, risk management.*

Введение. В настоящее время существует множество различных по принципам функционирования и системным подходам систем диагностики – от простых механических датчиков до сложных экспертных систем. Эти системы, как правило, предназначены для поиска устранения неисправностей и восстановления работоспособности сложных организационно-технических систем (СОТС) [1-7].

Однако оценка эффективности таких систем диагностики может представлять собой проблему, не имеющую готового аналитического решения, поскольку нарушения работоспособности СОТС представляют собой комплекс сложных взаимосвязанных труднопрогнозируемых событий [8; 9].

При этом восстановление частичной или полной работоспособности СОТС происходит в условиях жесткого дефицита времени, так как бездействие вышедшей из строя системы спустя определенный промежуток времени может повлечь за собой наступление гораздо более серьезных последствий.

Ситуация часто усугубляется тем, что потеря работоспособности СОТС происходит в ситуации «когнитивного затемнения», когда доступная оперативная информация о вышедших из строя объектах неполна, недоступна либо отсутствует в принципе [10].

Целесообразность использования систем диагностики и поиска неисправностей определяется эффективностью этих систем с точки зрения времени восстановления функционирования СОТС.

При этом эффективность оказывается в прямой зависимости от контекста использования систем диагностики: времени постановки первичной гипотезы о неисправности, времени подтверждения гипотезы о неисправности, времени устранения неисправности и временного запаса до наступления вторичных последствий [11].

Постановка задачи. Целью настоящего исследования являлась выработка методов оценки эффективности функционирования систем диагностики и поиска неисправностей при восстановлении работоспособности СОТС, выбор критериев эффективности процесса диагностики и поиска неисправностей СОТС, построение модели процесса диагностики и поиска неисправностей СОТС, моделирование процессов диагностики и поиска неисправностей с различными стратегиями и контекстными характеристиками поиска, определение параметров, влияющих на эффективность внедрения и использования систем диагностики и поиска неисправностей.

1. Парадигмы моделирования событийных процессов

Моделирование событийно-ориентированных процессов, в частности процесса поиска, диагностики и устранения неисправностей, представляет собой сложную и ресурсоемкую задачу.

В качестве возможного решения, как правило, используется один из трех основных подходов или их комбинация [12]:

1. Активно-ориентированная парадигма.
2. Событийно-ориентированная парадигма.
3. Процесс-ориентированная парадигма.

При этом моделирование разделяется на «повторяемые эксперименты» и анализ временных областей, или «эксперименты, протяженные во времени».

Одним из примеров модели может быть анализ обслуживания очередей заявок на ремонт, при котором заявки поступают в случайное время, и время их обслуживания тоже является случайной функцией.

В таких условиях время между началом работы и ее выполнением будет случайной функцией, коррелирующей с экспоненциальным или другим распределением [13].

При активно-ориентированной парадигме модельное время разделяется на небольшие интервалы – значительно меньшие, чем временной интервал происходящих событий. Для событий, имеющих разброс примерно в 20 секунд, рекомендуемый временной шаг может составлять 0.001 секунды. В каждый момент времени моделирующая программа отслеживает состояние всех процессов в системе, проверяет возможное завершение каждого из них и перераспределяет занятость различных систем.

Недостаток активно-ориентированной парадигмы – в неэкономном использовании вычислительных ресурсов. Большая часть времени уходит на запросы состояния системы (из-за малого интервала времени проверок в 90 % случаев неинформативные), что приводит к тому, что большую часть времени модель функционирует вхолостую. Это серьезно осложняет исследование, т. к. часто симуляция должна захватывать большие промежутки времени.

Событийно-ориентированная парадигма формализует иной подход. Набор событий хранится в виде событийного стека. Каждое новое событие что-то изменяет в стеке, при этом, возможно, генерируется новое событие. Программный код каждый раз проверяет стек событий и представляет системные часы на время, когда должно произойти следующее по очереди событие.

Процесс-ориентированная парадигма использует концепцию многопоточных вычислений. Организация работы с процессами в такой модели происходит по тем же принципам, что и работа с процессами в семействе операционных систем стандарта POSIX. Более того, некоторые модели используют механизм работы, основанный на unix-подобном взаимодействии процессов. Однако программные реализации таких моделей достаточно тяжело создавать и поддерживать.

Решение задачи. В рамках исследования модель СОТС представлена в виде множества взаимосвязанных материальных объектов (технических средств и персонала, обеспечивающего их функционирование и применение по назначению).

Каждому материальному объекту соответствует виртуальный узел модели, который имеет свои индивидуальные характеристики. Исследование проводилось путем моделирования поиска и устранения неисправностей с использованием событийно-ориентированной парадигмы.

1. Описание модели

Разработанная модель включает в себя четыре основных компонента:

1. Иерархическая человеко-машинная модель организационно-технической системы, которая представлена как взаимодействие технических и организационных объектов, связанных между собой связями различного характера. В модели СОТС представлена в виде направленного графа, в котором вершины представляют собой технические и организационные объекты, а ребра – связи между объектами.

Каждый объект СОТС в рамках модели характеризуется следующими величинами:

- временем на верификацию гипотезы о неработоспособности объекта;
- временем на восстановление работоспособности объекта;
- временем наступления вторичных последствий и оценкой риска наступления этих последствий.

Все это – случайные величины, которые в зависимости от системы могут определяться различными по характеристикам распределениями (нормальное, Вейбулла разных порядков).

В упрощенной модели они представлены математическим ожиданием.

2. Система диагностики – встроенная в модель либо подключенная к ней через аппаратно-программный интерфейс.

Модель представлена как система, которая на основании доступной информации генерирует вектор гипотез (d_1, d_2, \dots, d_N) о возможном местонахождении неисправной технической единицы.

Такой вектор гипотез может быть постоянным либо рекурсивным – меняющимся в зависимости от системной информации и информации, полученной от менеджера рисков.

В соответствии со стандартом ISO [5] гипотезы представляются в виде байесовских коэффициентов уверенности в работоспособности того или иного блока.

3. Менеджер рисков, который на основе гипотез о неисправностях, понимания внутренних взаимосвязей в СОТС и оценки рисков занимается последовательной диагностикой и восстановлением работоспособ-

ности объектов СОТС – самостоятельно либо на основе вектора гипотез системы диагностики.

4. Событийный стенд-процессор, который управляет работой модели и системным временем. Он включает в себя следующие функциональные модули:

- модуль генерации потока событий неисправностей на основе заданных распределений;
- модуль работы с модельными часами;
- модуль управления процессами модели в зависимости от происходящих событий;
- модуль сбора и оценки информации.

Моделирование и результаты. Моделирование проводилось для систем различной сложности (от 1 до 100 объектов), с различными распределениями стратегий поиска неисправностей, при этом время диагностики T_{diag} и время устранения неисправностей T_{repair} предполагалось равным для всех объектов системы.

Для каждой из исследуемых моделей было принято, что выход из строя хотя бы одного объекта приводит к выходу из строя всей СОТС.

При этом возникает ситуация «когнитивного затемнения», в которой система диагностики выдвигает гипотезу о неисправности одного из объектов. Далее затрачивается время T_{diag} на проверку истинности гипотезы.

Если объект действительно неисправен, то моделируется процесс его исправления.

При этом к общему времени устранения неисправности добавляется время T_{repair} на ремонт объекта.

Если гипотеза ошибочная, то система диагностики выдвигает следующую гипотезу, которая снова проверяется. И так далее, пока неисправный объект не будет обнаружен.

В качестве характеристики эффективности системы диагностики использовался «коэффициент попаданий»:

$$K_{diag} = \frac{N_{diag}}{N_{fail}},$$

где N_{diag} – число попыток диагностики;

N_{fail} – число неверных гипотез о неисправности.

Чем ближе k_{diag} к нулю, тем хуже работает стратегия поиска (больше попыток диагностики на один сбой).

Чем лучше система, тем ближе $k_{diag} \rightarrow 1$ (обнаружение с первого раза).

Кроме «коэффициента попаданий» использовался также «коэффициент простоя», характеризующий эффективность устранения неисправностей по времени и равный

$$k_{stop} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{fail}} (T_{repair}^i + \sum_{j=1}^{N_{diag}} T_{diag}^{ij})}{T_{full}}$$

где T_{repair}^i – время, затраченное на ремонт объекта i , вышедшего из строя;

T_{diag}^{ij} — время, затраченное на проверку гипотезы i о неисправности объекта j .

При этом, чем ближе k_{stop} к 1 – тем больше время, затраченное на поиск неисправности и ремонт объекта, и тем хуже работает система диагностики.

В качестве системы диагностики использовались блоки, осуществляющие стратегии слепого и направленного поиска.

Слепой поиск был выбран в качестве нормирующего уровня для моделей направленного поиска. Для слепого поиска были исследованы стратегии случайного (с выбыванием продиагностированных элементов) и последовательного (от 1 до N) переборов.

Направленный поиск использовался при байесовских коэффициентах уверенности в исправности объекта, равных в среднем 0.2, 0.5 и 0.9.

2. Результаты моделирования

Ниже приведены графики зависимости величин коэффициентов попадания и коэффициентов простоя от количества объектов исследуемой модели для различных поисковых стратегий диагностических блоков. График коэффициента попаданий везде обозначен черным цветом, а график коэффициента простоя – серым.

Результаты слепого поиска приведены в виде графиков на рис. 1, 2.

Хорошо видно, что случайный и последовательный варианты поиска не имеют особых преимуществ друг перед другом.

Стратегия слепого поиска хорошо работает для небольшого числа объектов (в рассматриваемой модели – до 6 объектов).

С ростом числа объектов эффективность поиска падает – для 100 объектов время простоя было близким к общему времени работы модели.

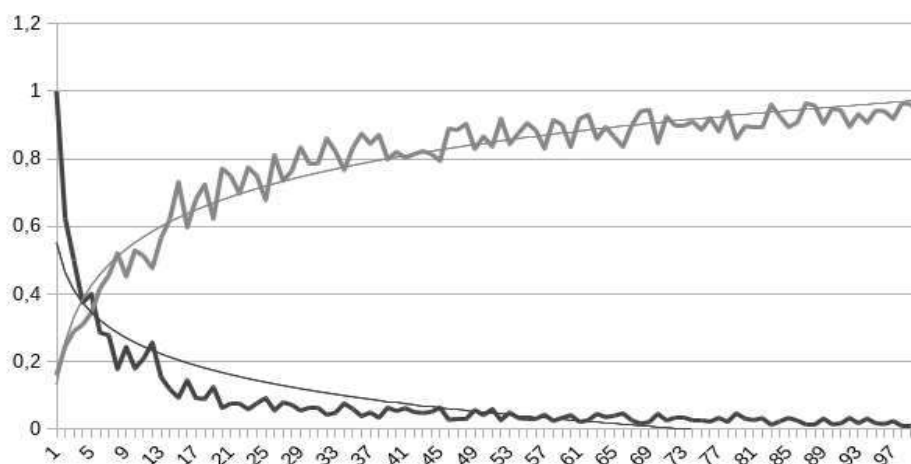


Рис. 1. Результаты моделирования стратегии случайного поиска

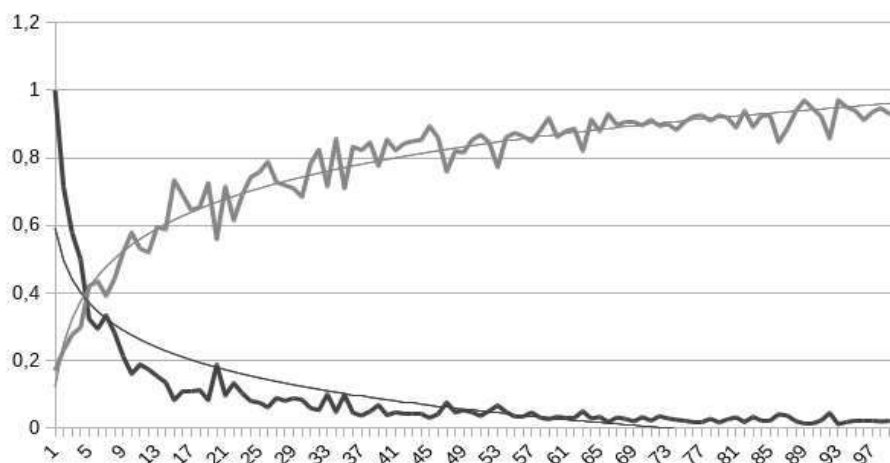


Рис. 2. Результаты моделирования стратегии последовательного поиска

Результаты направленного поиска приведены ниже на рис. 3, 4.

Результаты моделирования показывают, что стратегия направленного поиска работает оптимальнее, чем слепой поиск даже при низких значениях коэффициентов уверенности. Эффективность стратегии направленного поиска растет с увеличением сложности системы и количества диагностируемых объектов. При этом направленный поиск для систем с небольшим числом объектов не улучшает качество и скорость поиска неисправностей, но приводит к общему усложнению системы и в некоторых случаях может даже замедлить поиск неисправностей (если учитывать в модели время на принятие решения по каждому случаю диагностики).

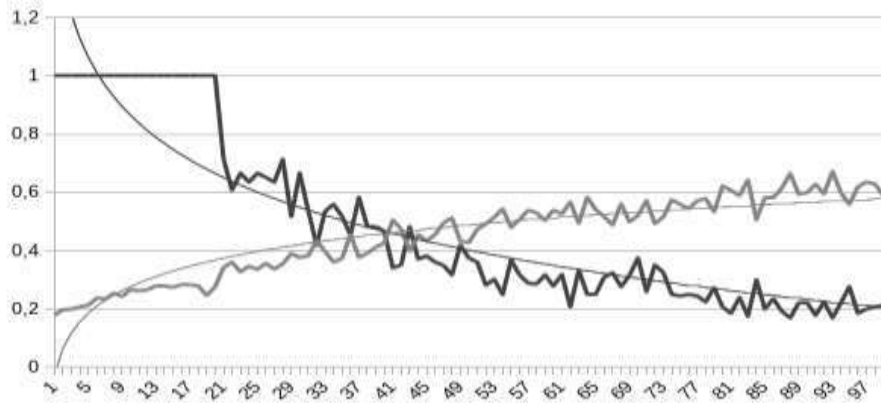


Рис. 3. Результаты моделирования стратегии направленного поиска для коэффициента 0.5

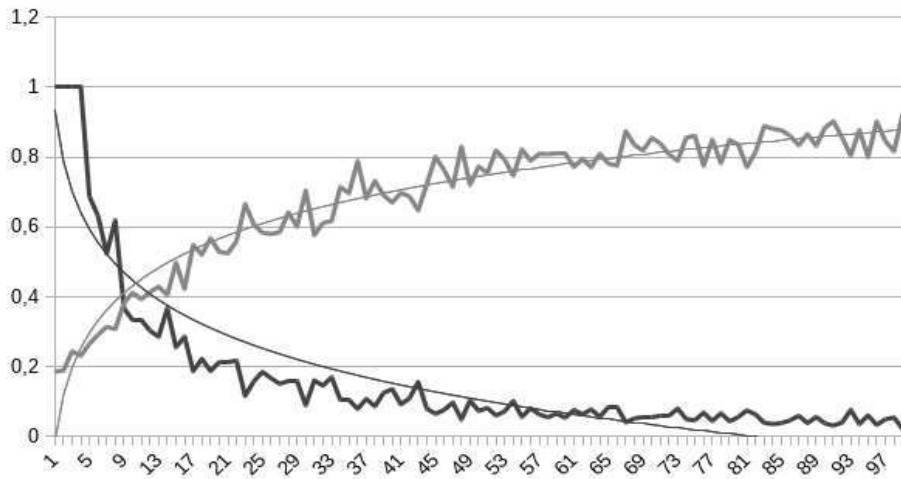


Рис. 4. Результаты моделирования стратегии направленного поиска для коэффициента 0.9

Анализ результатов моделирования позволил выделить три основных параметра, определяющих эффективность внедрения и использования систем диагностики неисправностей:

- сложность диагностируемой СОТС.
- количество доступной информации о состоянии СОТС.
- возможность управления СОТС.

Выводы. В статье были предложены методы, критерии и модель оценки эффективности поиска неисправностей в СОТС.

Все это позволило:

- Проследить динамику восстановления работоспособности СОТС для различных сценариев и систем диагностики.
- Оценить эффективность системы диагностики с точки зрения затрат времени на поиск и диагностику неисправностей СОТС.
- Определить параметры, влияющие на эффективность внедрения и использования систем диагностики и поиска неисправностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьёв И.В. *Общие принципы управления сложной организационно-технической системой* / И.В. Соловьёв // ПНиО. – 2014. – № 2 (8). – С.21-27.
2. Вычужанин В.В. *Повышение эффективности эксплуатации судовой системы комфортного кондиционирования воздуха при переменных нагрузках: Монография* / В.В. Вычужанин. – Одесса: ОНМУ, 2009. – 206 с.
3. Вычужанин В.В. *Гибридные экспертные системы для противоаварийного управления сложными техническими объектами* / В.В. Вычужанин, С.Н. Коновалов // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – 2017. – № 2 (51). – С. 165-178.
4. Рудниченко Н.Д. *Оценки структурного и функционального рисков сложных технических систем* / Н.Д. Рудниченко, В.В. Вычужанин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Інформаційні технології. Системи управління. – 2014. – Т.1. – № 2(67). – С. 18-22.
5. Вычужанин В.В. *Метод управления рисками судовых сложных технических систем* / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Проблеми техніки. – 2014. – № 2. – С. 138-142.
6. Вычужанин В.В. *Технические риски сложных комплексов функционально взаимосвязанных структурных компонентов судовых энергетических установок* / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – 2014. – Вып. 2(40). – С. 68-77.
7. Бойко В.Д. *Модель оценки живучести судовых технических систем* / В.Д. Бойко, В.В. Вычужанин. // Вісник Миколаївського кораблебудівного університету. – 2012. – № 3. – С. 62-67.
8. Кузнецов П.Д. *Интеллектуальное многоцелевое управление* / П.Д. Кузнецов // Госсоветник. – 2014. – № 4 (8). – С.65-68.

-
9. Акопов А. С. *Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата* / А.С. Акопов. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. – 389 с.
 10. Черкесов Г.Н. *Методы и модели оценки живучести сложных систем* / Г.Н. Черкесов. – М.: Знание, 1987. – 32 с.
 11. *Risk management: principles and guidelines: ISO 31000:2009* – Geneva: International Organization for Standardization, 2009. – 29 p.
 12. Matloff N. *Introduction to discrete-event simulation and the simpy language* / N. Matloff // Dept of Computer Science. University of California at Davis. Retrieved on August. – 2008. – Т. 2. – Р. 209.
 13. Кельтон В. *Имитационное моделирование* / В. Кельтон, А. Лоу. – Классика CS. – СПб.: Питер, 2004. – 847 с.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2017

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГНУЧКИХ
МЕТОДОЛОГІЙ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
В ПРАКТИЦІ СУЧАСНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГИБКИХ МЕТОДОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ПРАКТИКЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПАНИЙ**

**FLEXIBLE METHODOLOGIES EFFICIENCY
RESEARCH IN PRACTICE OF MODERN SOFTWARE
DEVELOPMENT COMPANIES**

Н.Д. РУДНИЧЕНКО, канд.техн.наук

Одесский национальный морской университет, Украина

Наведено результати дослідження ефективності використання гнучких методологій розробки програмного забезпечення в практиці сучасних компаній. Викладено результати проведеного опитування щодо використання методологій управління проектами, а також результати вартісного аналізу 9 різних проектів. Виявлено особливості різних гнучких методологій розробки при їх практичному застосуванні.

Ключові слова: гнучкі методології розробки програмного забезпечення, вартісний аналіз проектів.

Приведены результаты исследования эффективности использования гибких методологий разработки программного обеспечения в практике современных компаний. Изложены результаты проведенного опроса по использованию методологий управления проектами, а также результаты стоимостного анализа 9 различных проектов. Выявлены особенности различных гибких методологий разработки при их практическом применении.

Ключевые слова: гибкие методологии разработки программного обеспечения, стоимостной анализ проектов.

The results of research on the effectiveness of the use of flexible software development methodologies in the practice of modern companies are presented. The results of the survey on the use of project management methodologies, as well as the results of the cost analysis of 9 different projects are presented. The peculiarities of various agile development methodologies are revealed at their practical application.

Keywords: agile software development methodologies, project's cost analysis.

Introduction. Modern trends in the development of methods for the effective management of software development in the domestic and foreign markets indicate the growing relevance of the use of flexible approaches (agile) in practice [1]. The main problem in the management of projects in the field of information technology is to perform the tasks in a short time with high quality and a budget acceptable to the customer (triple bound) [2].

Software development, like any other technical discipline, deals with the following main problems: quality, cost and reliability [3]. In this regard, the proper organization of the software development process is the basis for achieving the planned result in the expected time, with the expected level of quality and with an adequate budget value [4]. Among the common problems of the software development process are the following [5]:

1. Change requirements directly in the development process.
2. Fuzzy distribution of responsibility for the work performed and its result between team members.
3. The presence of a continuous stream of small, «fast», piling up demands, distracting developers and managers from the main line of work.
4. As a consequence, failure to meet deadlines, inflation of budgets, loss of work quality.

Agile does not include specific practices, but determines the values and principles by which successful teams are guided. Most flexible methodologies are aimed at minimizing risks by reducing development to a series of short cycles, called iterations, which usually last one to two weeks. Each iteration itself looks like a software project in miniature and includes all the tasks necessary for issuing a mini-growth on functionality: planning, requirements analysis, design, coding, testing and documentation [6].

Relevance. Modern companies often implement existing and proprietary practices in managing the software development process, relying solely on experience on existing cases and management preferences [7-9]. This approach is not always very effective because it doesn't include the stages of project risk assessment and cost analysis in order to find the best methodology for the particular project development [10; 11].

Goal of the work. The aim is to study the effectiveness of using various Agile-methodologies in practice by conducting a cost analysis of planned and actual costs taking into account project risks based on statistical data collection.

Basis of material. To collect statistical data, a targeted interview was developed. It consists of 11 questions, 9 questions containing the answers, and the remaining 2 questions are aimed at a creative text response that reflects the respondent's private opinion. The interview's target audience consists of the middle and top level managers of software development units, team leads, project managers and providers of practical integration Agile-techniques (Scrum-masters, etc.). The interview was created and placed in the Internet using Google Forms.

The results of the survey on the software development methodologies used and on the most critical design risks are shown in Fig. 1 and Fig. 2. As can be seen in the above figures, the most frequently used methodology in practice by the respondents is Scrum, and the most critical risks are errors in estimating the scope of work and the human factor.

Which of the risks do you most often have?

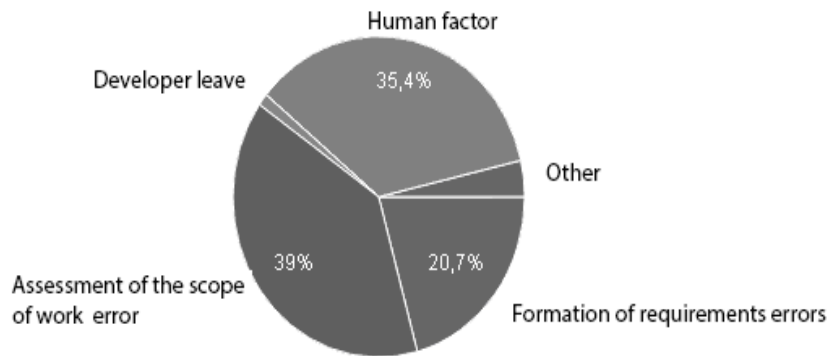


Fig.1. The most critical design risks

For a more accurate assessment of the effectiveness of the methodologies, 9 different cases were considered, for each of them a cost analysis of project was carried out. The information on the projects was received from a different development teams and is insider trading.

The cost analysis of the project (C) was defined as the product of the project execution time (T) by the cost of the team (K). T was defined as the ratio of the project volume in the story points (W) to the average team speed (S) (the average number of tasks per sprint).

The carried out cost analysis of the reviewed projects allowed to establish the planned, actual and final (taking into account the risks of exceeding the budget, external factors and delinquency) value. Summary results of the cost analysis of the 9 reviewed projects are shown in the table 1.

In most of the cases examined, the risks of exceeding the budget were realized, and in projects № 4 and 7 there was also a delay. The inherent risks of not timely delivery of results for projects 4 and 7 were about 10 %, which could not compensate for the total budget excess. This is due to the specifics of the Waterfall development methodology.

Analyzing all 9 considered projects, it should be noted that in practice, large values of risks are laid by teams numbering more than 6 people, with the lowest risk values being laid with Waterfall (5-10 %), more significant with Scrum (10-20 %), the most Large (from 30 %) for XP / TDD. High risks, in comparison with others, for XP are related to the specifics of the methodology itself.

What software development methodologies do you use?

82 responses

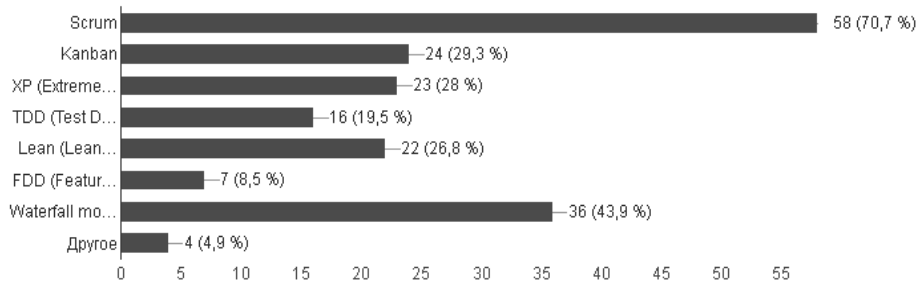


Fig. 2. Methodology usage diagram

With an increased degree of strain on the development team (lengthening the working day, consolidating the list of tasks to be carried out on the sprint, reinforced monitoring, nervous conditions due to tight deadlines).

When the obtained values of cost estimates for all projects are aggregated and averaged, it can be argued that the most time-consuming, technically complex, costly and risky in terms of probability to exceed the deadlines are web-systems and web-applications projects. Of the cases examined, this is № 2, 3, 4.

This is largely due to the necessity to use automated means of checking and testing the work of the product on iterations, allocating funds for the acquisition and deployment of servers for continuous integration, payment of manual and automated testers, and the difficulty of fully integrating solutions on hosting.

In this regard, in the projects of this category of software products, it is necessary to pawn large risks of exceeding the budget and delay. In the reviewed cases the budget for these projects is greater than other types. The final cost more often than the planned, often possible delay.

Less risky projects are mobile applications with a single or two-tier architecture, i.e. Without the use of application servers.

In our case, an example of such a project is № 1. According to the data, the size of the team for such projects can be less voluminous than for web development, which, on the one hand, reduces the risks of exceeding the budget, and on the other hand increases the risk of loss of qualified specialists.

The threshold of entry into the field of mobile development is higher than in the web and the number of job seekers for these vacancies is much lower than in the field of web development. Nevertheless, the project number 1 indicates a possible exceeding of the budget in practice for the reasons described above. The total cost, in about half the cases, may exceed the planned value due to risks.

Table 1

Summary results of the cost analysis of the reviewed projects

№	Methodology	Team Size (man)	Planned project's duration (days)	Actual project's duration (days)	Planned project's budget (UAH)	Actual project's budget (UAH)
1	Scrum	8	30	30	1 800 000	2 120 000
2	XP + TDD	4	15	15	416 000	416 000
3	FDD	8	30	30	3 700 000	3 680 000
4	Waterfall + Agile	4	75	82	349 700	380 000
5	Waterfall	7	89	89	10 000 000	12 000 000
6	Scrum	9	53	53	10 000 550	10 000 000
7	Waterfall	4	35	85	336 000	1 000 000
8	Scrum	3	45	45	360 000	360 000
9	XP	3	45	45	450 000	450 000

The least risky, from the point of view of the failure of terms, are desktop projects, most of which, within the framework of the projects reviewed, was performed on the basis of Agile-methodologies Scrum and XP (№ 6, 8, 9).

This is explained by the fact that the time and material costs for testing and deployment of such solutions are less than for web or mobile applications, and modern tools for cross-platform development (Java, Python, etc.) allow developers to reduce the amount of work required to integrate the final solutions for different operating systems and platform.

Risks of delay, respectively, are also lower. The final cost usually coincides with the planned one.

Extrapolating the obtained data, it should be noted that different agile practices and their combinations are appropriate for different cases.

We should note that the general project's classification according to the types described above: web applications, mobile applications and desktop applications. Also, should be classified and the team in size: large (more than 10 people), consisting of individual subgroups; medium (5-9 people) and small (up to 5 people).

Depending on the specifics of the project, different methodologies will give different technical and economic development effects. In particular, XP / TDD will allow us to increase the speed, but most likely reduce the quality.

Scrum will improve the quality, but will reduce the speed and increase the budget. FDD is less predictable, because on the one hand, it can raise the budget, on the other hand it can reduce the risks of delinquency.

Thus, taking into account the various risks, the most feasible from the financial point of view among the cases considered are desktop projects, next comes mobile applications and web systems.

It is reasonable to assume that with the increasing team's size it is reasonable to use agile-methodologies with more centralized control and monitoring mechanisms, which can improve the overall efficiency and productivity of the work.

At the same time, it is important to ensure that these practices do not develop into a Waterfall model, characterized by an excessive degree of bureaucracy, not transparency and formalization, which, as practice shows, leads to exceeding the deadlines and budget of the project.

For case studies on the basis of Scrum, almost complete coincidence of the planned and actual budget was found (discrepancy even less than 5 %). The most significant excess of the budget occurred when using the methodology of waterfall (more than 200 %).

It allows to affirm that Agile methodologies are more effective than Waterfall. This is due to the flexibility of the organization of communication between the client and the team, the absence of bureaucratic delays and instances, the reduction of the degree of formality of labor control for developers and the holding of regular internal meetings (meetings).

Conclusions. The conducted researches approved the dominating popularity of the Scrum methodology in the practice of software development.

This is due to the fact that it supports more tools to maximize the flexibility of the software development process and has a smaller integration threshold in practice, compared to XP, TDD, FDD.

Also it has such advantages for the team: it is easier to interact; it is necessary to spend less time and effort on the implementation of refactoring and drawing up project-reporting documentation; it is easier to understand the state of the project by holding short daily Scrum-meetings; it allows to summing up the results with the formation of recommendations on improving the work on subsequent projects through retrospective analysis.

However, the values of the risks for exceeding project's deadlines for Scrum methodology are quite high.

Their minimization is possible through the implementation of preventive modeling of possible scenarios of the situation evolution on the basis of Monte Carlo methods, fuzzy logic and regression prediction.

REFERENCES

1. Амблер С. Гибкие технологии: экстремальное программирование и унифицированный процесс разработки / С. Амблер. – СПб.: Питер, 2012. – 416 с.

2. Мельченко А.А. Гибкие методологии разработки программного обеспечения: экстремальное программирование управления проектами / А.А. Мельченко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2015. – № 2 (89). – С.146-150.
3. Карпов Д.В. Гибкая методология разработки программного обеспечения / Д.В. Карпов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 3 (2). – С. 227-230.
4. Баронов В.В. Информационные технологии и управление предприятием / В.В. Баронов, Г.Н. Калянов, И.Н. Титовский. – М.: АйТи, 2004. – 512 с.
5. Карминский А.М. Информатизация бизнеса / А.М. Карминский, В.П. Нестеров, Б.В. Черников. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 351 с.
6. Книберг Х. Scrum и XP. Заметки с передовой / Х. Книберг. – М.: Enterprise Software Development Series, 2015. – 94 с.
7. Кон М. Scrum: гибкая разработка ПО / М. Кон. – М.: Вильямс, 2011. – 576 с.
8. Криспин Л. Гибкое тестирование. Практическое руководство для тестировщиков ПО и гибких команд / Л. Криспин, Д. Грегори. – М.: ООО И.Д. Вильямс, 2010. – 464 с.
9. Мартин Р. Быстрая разработка программ. Принципы, примеры, практика / Р.С. Мартин, Д.В. Ньюкирк, Р.С. Косс. – М.: Вильямс, 2004. – 752 с.
10. Якобсон А. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения / А. Якобсон, Г. Буч, Дж. Рамбо. – СПб.: Питер, 2002. – 496 с.
11. Highsmith J. Agile Software Development Ecosystems / J. Highsmith. – Addison-Wesley Professional, 2002. – 326 p.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2017

Наукове видання

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ

Збірник наукових праць

Випуск 1 (1)

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською, російською
та англійською мовами*

Видається з жовтня 2017 р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 4242 від 26.12.2011 р.

Підписано до друку з оригінал-макету 10.10. 2017.
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 11,1
Замовлення № 180.

Надруковано у Видавництві ОНМУ
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.
Тел. 728 31 14