

Для відображення переваги використання ШНМ Хопфілда для розв'язку задачі пошуку оптимального авіамаршруту відобразимо отримані результати досліджень на графіку (рис. 4), з якого зробимо аналіз:

- для пошуку оптимального маршруту ШНМ Хопфілда використовує значно меншу кількість ітерацій;
- чим більша кількість міст, між якими потрібно знайти маршрут, тим більше часу затрачає алгоритм повного перебору, тоді як ШНМ показує стабільні результати.

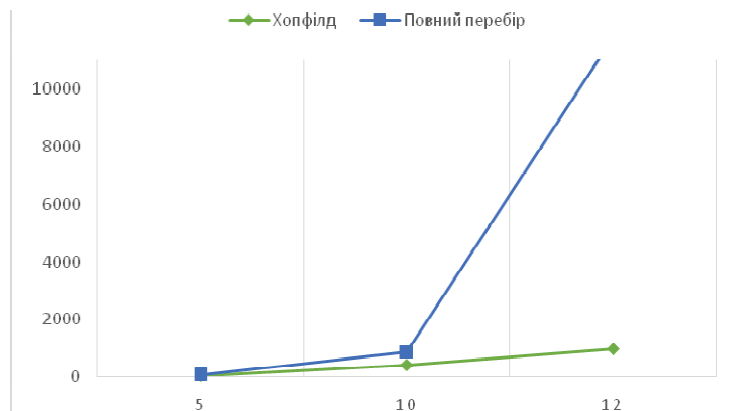


Рис. 4. Порівняння роботи двох розроблених алгоритмів

**Висновки.** Розглянуто новий ефективний підхід для розв'язання задачі комівояжера. Підхід побудований на основі штучної нейронної мережі з рекурентними зв'язками Хопфілда. Виконано порівняння довжини знайденого оптимального маршруту з довжиною найкоротшого маршруту.

Під час проведення експериментів з'ясовано, що нейромережевий метод, на відміну від методу гілок та меж, не потребує зберігати такої великої кількості шляхів обходу, що істотно економить пам'ять. Також цей підхід із збільшення кількості міст значно швидше знаходить оптимальний маршрут, ніж метод Літла, а тим більше метод повного перебору. А такі властивості штучної нейронної мережі як подібність до біологічної нейронної мережі, селективність, природний паралелізм та здатність швидко вирішувати слабоформалізовані задачі оптимізації дають перспективи у дослідженні та розвитку штучних нейронних мереж, зокрема, найпопулярніших із них – мереж Хопфілда.

### Література

1. Кутиркін А.В. Использование нейронной сети Хопфилда для решения оптимизационных задач маршрутизации / А.В. Кутиркін, А.В. Семин. – М.: Изд-во МИИТ, 2007. – 15 с.
2. Павленко М.А. Анализ возможностей искусственных нейронных сетей для решения задач однопутевой маршрутизации в ТКС / М.А. Павленко // Проблемы телекоммуникаций : сб. науч. тр. – 2011. – № 2 (4). – 7 с.
3. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс : пер. с англ. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М.: Изд. дом "Вильямса", 2006. – 1104 с.
4. Gang Feng and Christos Douligeris, Using Hopfield networks to solve traveling salesman problems based on stable state analysis technique, Neural Networks, 2000. IJCNN 2000, Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference.

5. Hopfield, J.J. "Neural" Computation of Decisions in Optimization Problems / J.J. Hopfield // Biological Cybernetics. Springer-Verlag, 1985. – Pp. 141-152.
6. Ma'ndziuk Jacek. Solving the Travelling Salesman Problem with a Hopfield – type neural network / Jacek Ma'ndziuk // Demonstratio Mathematica. – 1996. – Vol. 29(1). – Pp. 219-231.
7. Тарков М.С. Нейрокомп'ютерні системи / М.С. Тарков. [Електронний ресурс. – Доступний з <http://www.intuit.ru/departament/expert/neuro>.
8. Ritesh Gandhi Implementation Of Traveling Salesman's Problem Using Neural Network, ECE 559 Neural Networks December 3, 2001. [Electronic resource. – Mode of access <http://>

Надіслано до редакції 17.02.2016 р.

### Брындас А.М., Розжак П.И., Семенішин Н.О., Курка Р.Р. Реализация задачи выбора оптимального авиамаршрута нейронной сети Хопфилда

Приведена искусственная нейронная сеть Хопфилда для нахождения оптимального авиамаршрута. Входными данными для сети является матрица расстояний между маршрутами. Для сравнения эффективности полученных результатов разработано программное приложение, которое реализует решения задачи коммивояжера нейронной сети и с помощью полного перебора ("brute force") всех возможных маршрутов. Показано, что сеть находит удовлетворительный по длине маршрут, он отличается от оптимального в среднем на 7-8 % в случае количества городов более 15, при этом время и количество итераций для сходимости сети существенно меньше. С умным выбором сетевых параметров получено почти 100 % сходимости для формирования корректных маршрутов.

**Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть Хопфилда, задача коммивояжера, устойчивое состояние системы, матрица расстояний, матрица перестановок.

### Bryndas A.M., Rozhak P.I., Semenishin N.O., Kurka R.R. Implementing of the Problem of Choosing the Optimal Flight Rout by a Hopfield Neural Network

The Hopfield artificial neural network that is used to find the optimal flight routes is described. The input data for the network is the matrix of distances between routes. To compare the effectiveness of the results software application is developed that is to solve the travelling salesman problem using neural networks and through complete enumeration ("brute force") of all possible routes. After receiving the data we can say that the network is a satisfactory long route, which is different from the optimal average of 7-8 % for the number of cities over 15, while the time and the number of iterations for convergence of the network is much smaller. With an excellent choice of network parameters almost 100 % correct convergence to create routes are received.

**Keywords:** Hopfield artificial neural network, travelling salesman problem, stable state system, the distance matrix, the matrix of permutations.

УДК 622.013:519.1

### СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ІЗ УСУНЕННЯ УДАРІВ І ВІБРАЦІЙ ПІД ЧАС ГЛИБИННО-ПОХИЛОГО БУРІННЯ

Т.М. Матвійків<sup>1</sup>, В.М. Теслюк<sup>2</sup>

Розроблено архітектуру та структуру системи підтримки прийняття рішень (СПІР) із усунення ударів і вібрацій у процесі глибинно-похилого буріння. Розроблено алгоритм функціонування системи та інформаційне забезпечення, яке охоплює базу даних реального часу, базу моделей та правил і базу знань експертів. У процесі реалізації системи база знань експертів ґрунтується на моделях на основі мереж Байєса. Розроблений програмний продукт, у режимі порадики, придатний для промислового викорис-

<sup>1</sup> аспір. Т.М. Матвійків – НУ "Львівська політехніка";

<sup>2</sup> проф. В.М. Теслюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

тання під час буріння похило-скерованих свердловин за допомогою сучасних MWD-, LWD-, RSS-систем.

**Ключові слова:** СППР, глибинно-похиле буріння, удари та вібрації, база даних, база знань.

**Вступ.** Постійне збільшення обсягів буріння стимулює подальший розвиток як вибійних систем у бурінні – MWD, LWD та RSS, так і різноманітних прикладних інформаційних програм опрацювання даних – інформаційних систем контролю та підтримки прийняття рішень [1-3]. Розвиток високоточного та якісного буріння [4] неможливий без вдосконалення як самого наземного бурового комплексу, так і розроблення та впровадження різноманітних програмних інформаційних систем контролю та регулювання процесу буріння. Однією із таких систем є розроблена система підтримки прийняття рішень з ідентифікації та усунення вібрацій під час буріння.

Дослідження показують, що під час роботи з потоками даних у сфері моніторингу та контролю за процесом буріння нафтогазових свердловин найбільш поширеною на сьогодні є архітектура "клієнт-сервер". Вона має кілька істотних переваг над архітектурою централізованих обчислень, що використовувалась починаючи з 50-х років [5]. Ця архітектура дає змогу інтегрувати різні прикладні програми та характеризується масштабністю і доступністю програмного забезпечення. Для обміну даними між серверами та клієнтами використовують відносно новий протокол обміну даними WITSML, що керується стандартами компанії Energistics [6] та на цей час проходить активний шлях свого розвитку.

### 1. Побудова архітектури СППР із усунення ударів і вібрацій

Розроблена СППР складається із таких стадій: аналізу проблеми, розроблення початкового прототипу, проміжного варіанта та кінцевого продукту. Системи підтримки прийняття рішень належать до ІС нового покоління. У класичному розумінні СППР [7] – це інформаційна система, що містить такі компоненти: інтерфейс користувача (User Interface); систему керування базами даних – СКБД (Data Management System); систему управління базами моделей – СУБМ (Model Management System); систему управління базами знань (Knowledge Engine); систему управління повідомленнями (СУП).

Архітектура СППР із усунення ударів і вібрацій визначалася характером взаємодії основних її складових елементів: інтерфейсу користувача; бази даних, бази моделей і правил та бази знань експертів. Також архітектура розробленої СППР охоплює інфраструктуру комунікацій і мереж для інтеграції зі зовнішньою системою автоматизованого управління процесом буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин. Архітектуру розробленої СППР представлено на рис. 1.

### 2. Розроблення структурної схеми та алгоритму функціонування СППР

Структура системи підтримки прийняття рішень складається з окремих модулів, що взаємодіють із основним модулем моніторингу та управління і не мають прямої взаємодії між собою. Отже, система набуває переваг модульного підходу, що дає змогу доповнювати її новими модулями та замінювати чи вдосконалювати наявні.

Із функціонального погляду, СППР складається із таких компонент: інтерфейс користувача; модуль захоплення даних реального масштабу часу; модуль моніторингу та управління даними; модуль реалізації моделей та алгоритмів; модуль візуалізації параметрів буріння; бази даних та знань.

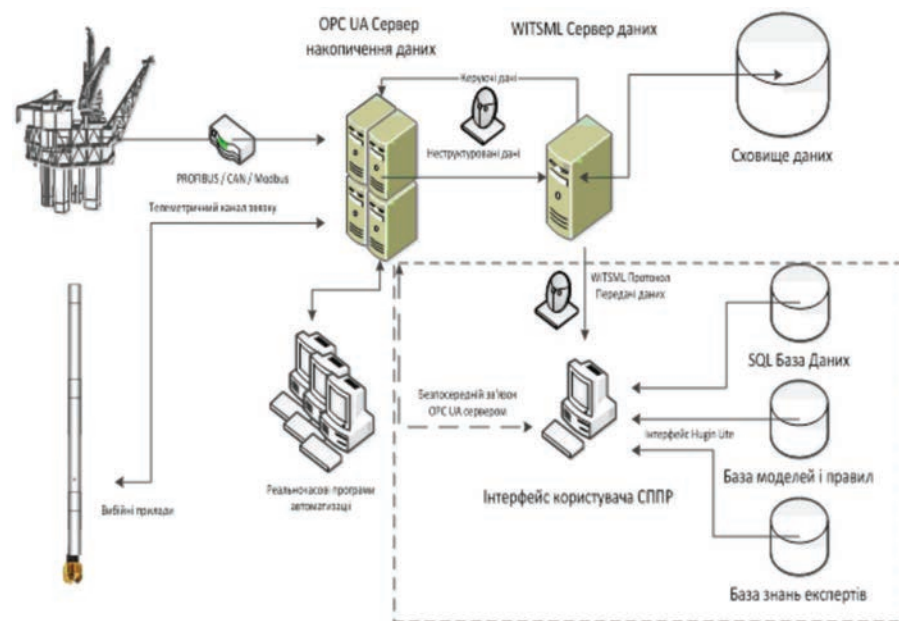


Рис. 1. Архітектура СППР з ідентифікації та усунення вібрацій у процесі глибинно-похилого буріння

Структуру системи підтримки прийняття рішень зображено на рис. 2. Розроблена система є гібридною СППР, що об'єднує в собі кілька типів інформаційних СППР, саме:

1. СППР на основі даних (DDSS) – рішення ґрунтується на основі аналізу неперервних даних щодо наявності ударів і вібрацій у реальному масштабі часу.
2. СППР на основі моделей (MDSS) – рішення ґрунтується на основі моделювання ресурсу роботи ЕСП.
3. СППР на основі знань (KDSS) – для прийняття рішень використовують мережі Байеса та діаграми впливу, що ґрунтується на знаннях експертів про причини та ознаки виникнення ударів і вібрацій [8, 9].
4. СППР на основі спілкування (CDSS).

Функціональну схему системи управління усуненням ударів і вібрацій зображено на рис. 3. Алгоритм функціонування розробленої інформаційної системи містить такі основні параметри:

1. СППР дає змогу отримувати дані в режимі реального масштабу часу із WITSML потоку, що в режимі стріму постійно доповнюється новими даними про процес буріння, які надходять із поверхневих і глибинних давачів.

2. За допомогою модуля моніторингу та управління даними, отримані дані використовують для аналізу поточного стану та записуються в реляційну базу даних СППР.
3. За допомогою моделей та алгоритмів [9-11] аналізується інформація отриманої із нових даних реального масштабу часу на предмет наявності та визначення достовірності ударів і вібрацій. Проводиться аналіз рівня вібрації та вираховується ресурс роботи електронних свердловинних приладів (ЕСП).
4. У разі загрози передчасної поломки ЕСП СППР приймає рішення про потребу усунення вібрацій та відображає його на екрані.
5. На основі ідентифікації виду вібрацій пропонується алгоритм усунення цього чи іншого виду вібрацій.
6. Успішність подолання вібрацій у певних геологічних умовах заноситься в базу знань, що впливатиме на подальше прийняття рішення із усунення вібрацій. Отже, відбувається занесення нових знань та навчання системи.

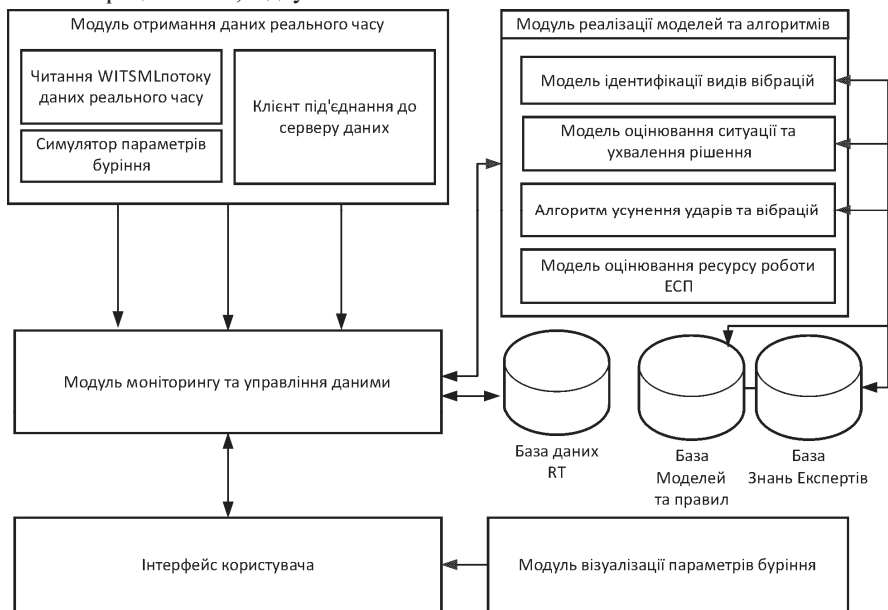


Рис. 2. Структура системи підтримки прийняття рішень із усунення ударів і вібрацій під час буріння

### 3. Розроблення структури SQL БЗ

Для полегшення доступу та аналізу даних, бази даних розробленої СППР розділено на 3 групи: базу даних RT (дані реального масштабу часу); база моделей і правил; база знань експертів.

Велике сховище witsml даних масштабу підприємства, що містить дані із усіх свердловин, у розроблену СППР не входить. Також у цьому сховищі даних містяться неструктуровані дані, що зберігаються інакше, ніж структуровані дані. WITSMML Web-сервери забезпечують потужну платформу для неструктурованих даних і документів. Архітектура бази даних RT використовує локальний

SQL сервер. Структуру БД RT представлено на рис. 4. Основною таблицею є таблиця data, що містить дані реального масштабу часу. Список усіх наявних даних зберігається у таблицях logCurveInfo.

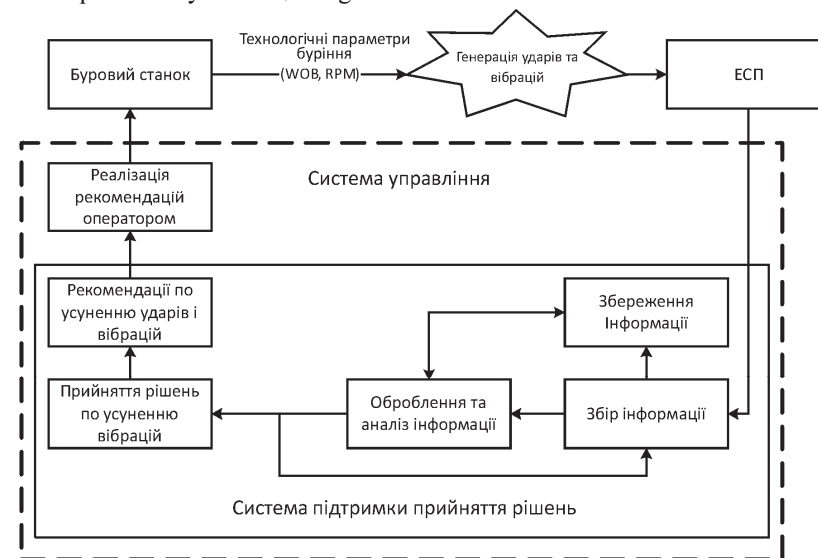


Рис. 3. Функціональна схема системи управління усуненням ударів і вібрацій



Рис. 4. Структура бази даних RT СППР для збереження даних реального масштабу часу

База моделей і правил призначена для збереження моделей і правил, що можуть бути використані для моделювання різноманітних процесів буріння з метою покращення прийнятих системою рішень. На цьому етапі розроблення сюди включено модель оцінювання ресурсу роботи ЕСП та алгоритм усунення ударів та вібрацій, описаний вище.



База знань експертів складається із таблиць умовних ймовірностей, що використовуються в мережах Байеса [7, 10]. Розроблені таблиці містять знання експертів у сфері буріння та містять інформацію, що дає змогу побудувати причинно-наслідкові зв'язки між появою певних видів вібрацій та різноманітними факторами, що приводять до її виникнення. На початковому етапі формування, заповнення таблиць ймовірностей відбувається за допомогою знань експертів. За наявності великої кількості спостережень таблиці модифікуються на основі даних спостережень. Нижче наведено таблиці, що містять експертні знання про фактори, які впливають на латеральні вібрації та хаотичну зміну крутильного моменту на роторі (рис. 5).

The image shows two screenshots of a software interface titled 'Edit Functions View'. The first screenshot shows a table with columns for 'Resonans' (Stiff, Soft) and 'Vib\_tor' (false, true), with sub-columns for 'Vertical', 'Directional', and 'Horizontal'. The second screenshot shows a table with columns for 'Вібрації латеральні' (false, true) and 'Вібрації латеральні' (false, true), with rows for 'No change', 'Rapidly Inc', and 'Rapidly Dec'.

Рис. 5. Таблиці умовних ймовірностей вершин "dT" та "Вібрації латеральні"

Приклад інтерфейсу користувача СППР із усунення ударів і вібрацій у процесі глибинно-похилого буріння зображено на рис. 6.

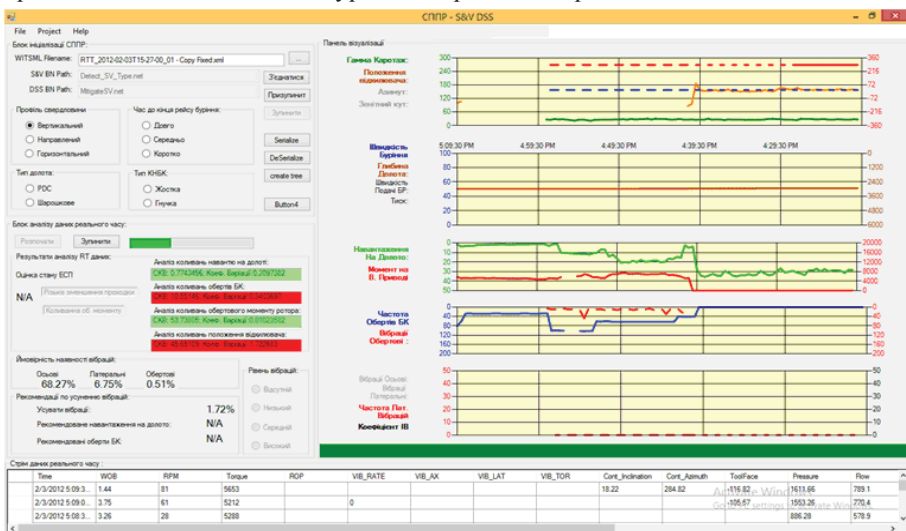


Рис. 6. Інтерфейс користувач СППР із усунення ударів і вібрацій

Інтерфейс користувача є головним компонентом у проєкті СППР. Він розміщений безпосередньо у клієнтів згідно з архітектурою "товстого клієнта" (thick-client). Основну форму інтерфейсу користувача зображено на рис. 6.

Інтерфейс користувача складається із таких блоків-панелей: блок ініціалізації СППР, який призначений для задавання користувачем вхідного WITSXML файлу із стрімом даних у реальному масштабі часу та індексації вхідних даних; блок аналізу даних реального масштабу часу, що передає оновлені дані поточного часового зрізу на вхід мереж Байєса та діаграм впливу; панель стріму даних реального масштабу часу, яка відображає поточні та історичні дані, якими оперує система.

**Висновки:**

1. Розроблено архітектуру СППР із усунення ударів і вібрацій та її взаємодію із системою автоматизованого управління процесом буріння похило-скерованих свердловин.
2. Побудовано структурну схему та алгоритм функціонування СППР, що містить: інтерфейс користувача, модуль захоплення даних реального масштабу часу, модуль моніторингу та управління даними, модуль реалізації моделей та алгоритмів, модуль візуалізації параметрів процесу буріння, бази даних та знань.
3. Розроблено функціональну схему системи управління усуненням ударів і вібрацій та складено алгоритм функціонування розробленої інформаційної системи.
4. Розроблено структуру баз даних і знань, які для полегшення доступу та аналізу даних поділені на: базу даних RT, базу моделей і правил, базу знань експертів.

**Література**

1. Bommer P. A primer of oilwell drilling: a basic text of oil and gas drilling / P. Bommer // 7-th ed. University of Texas, Austin, 2008. – Pp. 135.
2. Breyholtz O. Drilling Automation: Presenting a Framework for Automated Operations / O. Breyholtz, M. Nikolaou // SPE Drilling & Completion. – Vol. 27, Number 1, March, 2012. – Pp. 118-126.
3. Baik H.S. Decision support system for horizontal directional drilling / H.S. Baik, D.M. Abraham, S. Gokhale // Tunneling and Underground Space technology, 2003. – Pp. 99-109.
4. Мала гірнича енциклопедія / за ред. В.С. Білецького. – Т. III. – Донецьк : Східний вид. дім, 2013. – 644 с.
5. Малаяр А.В. Системи автоматизованого керування і моніторингу процесом видобування нафти : монографія / А.В. Малаяр, Б.С. Калужний. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2012. – 272 с.
6. Microsoft займається нафтегазовою промисловістю // NewsMe. – 2009. [Електронний ресурс. – Доступний с <http://newsme.com.ua/business/277074/>
7. Бідюк П.І. Проєктування комп'ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень : навч. посібн. / І. Бідюк, Л. Коршевнюк. – К. : Вид-во ННК "ІПСА", НТУУ "КПІ", 2010. – 196 с.
8. Матвійків Т.М. Комп'ютерне моделювання промиву бурової колони : зб. наук. праць / Т.М. Матвійків, В.М. Теслюк, А.С. Струк, Р.В. Загарюк // ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2012. – № 63. – С. 111-118.
9. Теслюк В.М. Формалізована інтегральна оцінка ресурсу роботи та ризику поломки бурових телеметричних систем / В.М. Теслюк, Т.М. Матвійків // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Інформаційні системи та мережі. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2011. – № 705. – С. 19-21.

10. Matviykyv T.M. Use of influence diagrams for decision support in drilling automation / T.M. Matviykyv, V.M. Teslyuk // Journal of Global Research in Computer Science (JGRCS). – India, 2013. – Vol. 4, No. 4 (April). – Pp. 1-7.

11. Teslyuk V. Computer Modeling of Drill String Washout / V. Teslyuk, T. Matviykyv, A. Struk // Proc. of the X Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2009). – Lviv-Polyana, Ukraine, 2009. – Pp. 51-52.

Надіслано до редакції 24.02.2016 р.

**Матвійків Т.М., Теслюк В.Н. Система підтримки прийняття рішення по усуненню ударов и вибраций при глубинно-наклонном бурении**

Разработана архитектура и структура системы поддержки принятия решений по усуненню ударов и вибраций в процессе глубинно-наклонного бурения. Разработан алгоритм функционирования системы и информационное обеспечение, которое включает базу данных реального времени, базу моделей и правил, а также базу знаний экспертов. В процессе реализации системы база знаний экспертов базируется на моделях на основании сетей Байеса. Разработанный программный продукт, в режиме советчика, пригодный для промышленного использования при бурении наклонно-направленных скважин с помощью современных MWD-, LWD-, RSS-систем.

**Ключевые слова:** СППР, глубинно-наклонное бурение, удары и вибрации, база данных, база знаний.

**Matviykyv T.M., Teslyuk V.M. Decision Support System for Shocks and Vibrations Mitigation in Directional Drilling**

The development of decision-support system (DSS) for shocks and vibration mitigation in downhole directional drilling is described. System architecture, operation algorithm and schematic diagram design are specified. The DSS incorporates real-time databases, rule-based and expert knowledge databases. During the design process, we use Bayesian Networks modelling for expert knowledge implementation. The proposed system works in an advisor mode. It can be used in downhole directional drilling of oilfield wells with modern MWD-, LWD-, RSS-systems.

**Keywords:** DSS, downhole directional drilling, shocks and vibrations, database, knowledge base.

УДК 004.31

**МЕТОД МУЛЬТИБАЗИСНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ХААРА-КРЕСТЕНСОНА НА ОСНОВІ КОМПАРАТОРІВ З ПАРАФАЗНИМИ ВИХОДАМИ**

**В.Я. Піх<sup>1,2</sup>**

Проаналізовано існуючі методи формування та кодування технологічних даних на низових рівнях розподілених комп'ютеризованих систем, звідки видно, що на практиці найширше застосування знайшли перетворювачі форми інформації на основі аналого-цифрового перетворювача (АЦП) різних типів. Запропоновано структуру АЦП із застосуванням компараторів з парафазними виходами та реалізації логічного елемента, що виключає АБО на логічних елементах І-НЕ з парафазними входами та з'єднані між собою інверсними виходами. Отже, запропоноване вдосконалення структури дає змогу підвищити його швидкодію та зменшити часову складність перетворень у 2,5-3 рази. При цьому зменшення апаратної складності становить близько 30 %.

<sup>1</sup> аспір. В.Я. Піх – Івано-Франківський НТУ нафти і газу

<sup>2</sup> наук. керівник: проф. Я.М. Николаичку, д-р техн. наук – Тернопільський НЕУ

**Ключові слова:** теоретико-числові бази, аналого-цифрові перетворювачі, квад- ратори, пристрої перемноження, нагромаджувальні суматори, шифратори.

**Вступ.** Аналого-цифрові перетворювачі є пристроями, які приймають вхідні аналогові сигнали і генерують відповідні їм цифрові сигнали, придатні для оброблення мікропроцесорами та іншими цифровими пристроями. Сучасні методи АЦП широко використовують для оброблення сигналів обчислювальної техніки. Вдосконалення та покращення існуючих методів мультибазисним аналого-цифровим перетворенням сигналів базису Хаара-Крестенсона, який порівняно з відомими аналогами, дає змогу розпаралелити формування кодів залишків у базисі, є актуальною задачею.

**Мета роботи** – розроблення методу та структури перетворення вхідного аналогового сигналу мультибазисним АЦП Хаара-Крестенсона з використанням компараторів з парафазними виходами у дискретні цифрові відліки для подальшого обчислення на комп'ютерній техніці.

**Постановка проблеми.** Дослідження патентних розробок цифрових кореляторів та перетворювачів форми інформації засвідчують, що найменшою апаратною складністю характеризуються АЦП в унітарному ТЧБ, а максимальну швидкодію перетворення забезпечують АЦП паралельного типу. Тому актуальною задачею є вдосконалення та розроблення нових структурних рішень АЦП паралельного типу для забезпечення можливості реалізації цифрових кореляторів з максимальною швидкодією [1-4].

**Дослідження часових складностей АЦП у різних ТЧБ.** Аналого-цифрові перетворювачі широко використовують у сучасних інформаційних системах. Існують різні типи АЦП, серед яких треба виділити одноканальні та багатоканальні АЦП. Багатоканальні АЦП (БАЦП) практично застосовуються в інформаційних системах моніторингу та управління багатопараметричними технологічними об'єктами. Розрізняють такі типи БАЦП:

1. з аналоговим вхідним комутатором;
2. з дискретним цифровим комутатором;
3. з певним числом одноканальних АЦП;
4. з паралельною розгорткою в унітарному ТЧБ.

Істотними недоліками БАЦП із вхідними комутаторами є поява ефектів старіння інформації, які полягають у тому, що різні процеси реєструються у різні моменти часу, що призводить до декореляції їх характеристик, а також до істотного спотворення спектральних характеристик, які обчислюються в реальному масштабі часу. Тому застосування БАЦП із вхідними комутаторами є неефективним у разі їх застосування як базових модулів взаємодіяючих і спектральних процесорів.

БАЦП з паралельною розгорткою в унітарному ТЧБ характеризується спрощеною апаратною реалізацією, оскільки у кожному каналі використовується один компаратор, на входи яких подаються потенціали виходів сенсорів різних технологічних параметрів, і використовується один цифро-аналоговий перетворювач та двійковий лічильник, який тактується генератором імпульсів. Перевагою такого БАЦП є одночасний старт процесу вимірювання багатьох технологічних параметрів. Водночас завершення процесу аналого-цифрового